

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Rozbor technických ztrát u hraničních vedení přenosové
soustavy ČR**

Analysis of Technical Losses in Border Lines of Czech
Transmission System

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Mozdřen**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Rozbor technických ztrát u hraničních vedení přenosové soustavy ČR**
Analysis of Technical Losses in Border Lines of Czech Transmission System

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor vedení přenosové soustavy České republiky
2. Technický rozbor parametrů hraničních vedení VVN a ZVN v ČR
3. Teorie ztrát elektrické energie vedení VVN a ZVN
4. Analýza databáze měřených Jouleových ztrát hraničních vedení VVN a ZVN ve vybraném zimním a letním období
5. Analýza podílu technických ztrát hraničních vedení přenosové soustavy s ohledem na přenosy výkonů
6. Modelové stavy provozu hraničních vedení VVN a ZVN s ohledem k celkovým ztrátám přenosové soustavy
7. Zhodnocení dosažených výsledků a stanovení závěrů

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hradílek Z. : Elektroenergetika, skriptá VŠB Ostrava 1992
2. Santarius P. : Elektrické stanice a vedení, skriptá VŠB Ostrava 1990
3. Rudolf L. : Komplexní rozbor elektrických ztrát vedení PS, habilitační práce VŠB TUO, 2009
4. Dokumentace ČEPS, a.s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

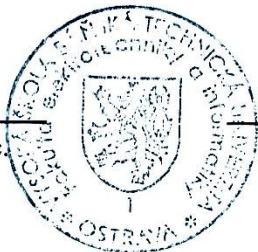
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Materiály, zpracované v diplomové práci mohou sloužit pro potřebu společnosti ČEPS, a.s.

V Ostravě dne 4. května 2013

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Tomáš Mozdřen', written over a horizontal line.

Bc. Tomáš Mozdřen

Poděkování

Rád bych touto cestou chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Stanislavu Ruskovi, CSc. za jeho cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat mému konzultantovi panu Doc. Ing. Ladislavu Rudolfovi, Ph.D. za vstřícnost a pomoc při získání potřebných informací a podkladů, a také za jeho cenné rady, které daly vzniknout této práci. V poslední řadě bych chtěl poděkovat společnosti ČEPS, a.s. za poskytnuté údaje pro tuto práci.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá rozbořem technických ztrát na hraničních vedeních přenosové soustavy České republiky. V úvodu práce je zpracován teoretický rozbor vedení přenosové soustavy a hraničních vedení, které vedou z České republiky do sousedních států. Dále v diplomové práci jsou využity teoretické podklady, které jsou uvedeny v základní teorii. K výpočtu funkcí technických ztrát, přenášeného výkonu, procházejícího proudu jsou použity skutečné naměřené hodnoty, které jsou zpracovány v databázi z energetického dispečinku. Na základě skutečných naměřených hodnot, které budou následně použity ke stanovení vhodných závislostí technických ztrát, přenášeného proudu a přenášeného výkonu pro všechny hraniční vedení přenosové soustavy České republiky. V závěru diplomové práce je provedeno zhodnocení dosažených výsledků.

Klíčové slova

přenosová soustava, rozvodna, velmi vysoké napětí, zvlášť vysoké napětí, technické ztráty, hraniční vedení, energetický dispečink, roční období, modelové stavy

Abstract

This thesis deals with the analysis of the technical losses at border lines of the transmission system of the Czech Republic. At the beginning of the work is handled by the theoretical analysis of the management of the transmission system and border lines that lead from the Czech Republic to neighbouring states. In the thesis are utilized theoretical elements, which are listed in the basic theory. To calculate the functions of technical losses, imparted through current performance, the actual measured values are used, which are processed in the database of the energy dispatching. On the basis of the results obtained is then used to determine the appropriate dependencies of technical losses, imparted the stream and transmitted power for all border management of the transmission system of the Czech Republic. At the end of the thesis is an assessment of the results achieved.

Keywords

transmission system, substation, high voltage, extra high voltage, technical losses, border lines, energy dispatching, the seasons, the model states

Seznam použitých symbolů a zkratek

Značka	Veličina	Jednotka
50 Hertz Transmission	Německá přenosová soustava	-
AGP	Rakouská přenosová soustava	-
CEE TSO	Evropské sdružení soustav	-
ČEPS	Česká přenosová soustava	-
ELES	Slovinská přenosová soustava	-
MAVIR	Maďarská přenosová soustava	-
PSE Operator	Polská přenosová soustava	-
SEPS	Slovenská přenosová soustava	-
Tennet TSO	Německá přenosová soustava	-
AlFe	vodič s hliníkovým obalem a ocelovým jádrem	-
ČR	Česká republika	-
DS	distribuční soustava	-
PS	přenosová soustava	-
PST	transformátor s příčnou regulací	-
VVN	velmi vysoké napětí	-
ZDP	záložní dispečerské pracoviště	-
ZVN	zvlášť vysoké napětí	-
B	susceptance vedení	μS
G_s	svodová vodivost	$\text{S} \cdot \text{km}^{-1}$
I	proud	A
I_{nab}	nabíjecí proud	A
P	výkon	W
P_p	přirozený výkon	MW
P_1	příkon dodaný na začátku vedení	W
P_2	výkon přivedený na konec vedení	W
Q	jalový výkon	var
Q_{nab}	nabíjecí výkon	var
Q_{ved}	jalový výkon na vedení	var
R	odpor vedení	Ω

R_{20}	odpor vodiče při 20°C	Ω
R_c	celkový odpor vodiče	Ω
R_k	odpor na kilometr	$\Omega \cdot \text{km}^{-1}$
R_ϑ	odpor při teplotě ϑ	Ω
S_v	průřez vodiče	mm^2
S	zdánlivý výkon	VA
U_f	fázová hodnota napětí	V
U_o	počáteční napětí koróny	kV
U_s	sdružená hodnota napětí	V
X	reaktance vedení	Ω
X_b	reaktance vedení	Ω
Z_v	vlnová impedance vedení	Ω
ΔP	Jouleové ztráty	MW
ΔP_k	ztráty korónou	$\text{W} \cdot \text{km}^{-1}$
ΔP_s	ztráty svodem	$\text{W} \cdot \text{km}^{-1}$
$\cos\varphi$	účinník	-
d	střední vzdálenost vodiče	cm
f	kmitočet	Hz
k	koeficient	-
kV	napětí	kilovolt
k_z	koeficient zatížení	-
l	délka vedení	km
m_1	vliv povrchu vodiče	-
m_2	vliv počasí	-
r	poloměr vodiče	cm
r_e	ekvivalentní poloměr vodiče	cm
$\Delta\vartheta$	rozdíl teplot od 20°C	K
α	teplotní součinitel odporu	K^{-1}
δ	relativní hustota vzduchu	-
η	účinnost	%
ρ	měrný odpor vodiče	$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$

Seznam použitých zkratk pro hraniční rozvodny

Zkratka	Název rozvodny	Hladina napětí	Stát
ALB4	Albrechtice	400 kV	Česká republika
HRA4	Hradec – východ	400 kV	Česká republika
HRD4	Hradec – západ	400 kV	Česká republika
NOS4	Nošovice	400 kV	Česká republika
PRE4	Přeštice	400 kV	Česká republika
SLV4	Slavětice	400 kV	Česká republika
SOK4	Sokolnice	400 kV	Česká republika
LIS2	Lískovec	220 kV	Česká republika
SOK2	Sokolnice	220 kV	Česká republika
DETZ4	Etzenricht	400 kV	Německo
DROH4	Röhrsdorf	400 kV	Německo
ADRN4	Dürnrohr	400 kV	Rakousko
BIS2	Bisamberg	220 kV	Rakousko
SKRI4	Križovany	400 kV	Slovensko
STU4	Stupava	400 kV	Slovensko
SVAR4	Varín	400 kV	Slovensko
PBY2	Považská Bystrica	220 kV	Slovensko
SEN2	Senica	220 kV	Slovensko
PDBN4	Dobrzeń	400 kV	Polsko
PWIE4	Wielopole	400 kV	Polsko
BUJ2	Bujakow	220 kV	Polsko
KOP2	Kopanina	220 kV	Polsko

Obsah

Úvod	1
1 Teoretický rozbor vedení přenosové soustavy České republiky	2
2 Technický rozbor parametrů hraničních vedení VVN a ZVN v ČR.....	8
2.1 Popis hraničních vedení České republiky do zahraničí	8
2.2 Parametry hraničních vedení České republiky do zahraničí	12
3 Teorie ztrát elektrické energie vedení VVN a ZVN	13
3.1 Jouleovy ztráty	15
3.2 Ztráty svodem	18
3.3 Ztráty korónou	20
4 Analýza databáze měřených Jouleových ztrát hraničních vedení VVN a ZVN ve vybraném zimním a letním období	22
4.1 Průběh teploty na určitých místech České republiky.....	22
4.2 Odvození výpočtu Jouleových ztrát pomocí náhradního článku „Π“	26
4.2.1 Postup odvození vzorce Jouleových ztrát se zanedbáním svodu [6]	27
4.2.2 Praktický výpočet Jouleových ztrát na vybraném hraničním vedení 400 kV a 220 kV přenosové soustavy ČR.....	29
4.3 Jouleové ztráty na hraničních vedeních přenosové soustavy z České republiky do zahraničí.....	32
4.3.1 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k německému profilu.....	33
4.3.2 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k rakouskému profilu	37
4.3.3 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k slovenskému profilu	42
4.3.4 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k polskému profilu	47
4.4 Přenášený proud na hraničních vedeních přenosové soustavy z České republiky do zahraničí.....	53
4.4.1 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro německý profil.....	54
4.4.2 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro rakouský profil	57
4.4.3 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro slovenský profil	59
4.4.4 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro polský profil	62
4.5 Přirozený výkon na vedeních přenosové soustavy VVN a ZVN.....	64
4.6 Přenášený výkon vztažený k přirozenému výkonu na hraničních vedeních přenosové soustavy z České republiky do zahraničí.....	67
4.6.1 Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro německý profil	68

4.6.2	<i>Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro rakouský profil.....</i>	71
4.6.3	<i>Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro slovenský profil.....</i>	73
4.6.4	<i>Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro polský profil.....</i>	76
5	Analýza podílu technických ztrát hraničních vedení přenosové soustavy s ohledem na přenosy výkonů.....	79
5.1	Průběh naměřených technických ztrát ze společnosti ČEPS, a.s.	79
5.2	Podíl Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničních vedeních 400 kV k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s.	83
5.2.1	<i>Podíl technických ztrát na hraničních vedeních německého profilu.....</i>	83
5.2.2	<i>Podíl technických ztrát na hraničních vedeních rakouského profilu</i>	86
5.2.3	<i>Podíl technických ztrát na hraničních vedeních slovenského profilu.....</i>	88
5.2.4	<i>Podíl technických ztrát na hraničních vedeních polského profilu.....</i>	91
5.3	Podíl Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničních vedeních 220 kV k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s.	94
5.3.1	<i>Podíl technických ztrát na hraničních vedeních rakouského profilu</i>	94
5.3.2	<i>Podíl technických ztrát na hraničních vedeních slovenského profilu.....</i>	97
5.3.3	<i>Podíl technických ztrát na hraničních vedeních polského profilu.....</i>	100
5.4	Velikost Jouleových ztrát na hraničních vedeních 400 kV a 220 kV propojených s ČR vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s.	103
6	Modelové stavy provozu hraničních vedení VVN a ZVN s ohledem k celkovým ztrátám přenosové	106
6.1	Modelový stav na hraničních vedeních na hladině napětí 400 kV	107
6.1.1	<i>Vedení V437, V438 z České republiky do Rakouska</i>	107
6.1.2	<i>Vedení V445, V446 z České republiky do Německa</i>	113
6.2	Modelový stav na hraničních vedeních na hladině napětí 220 kV	117
6.2.1	<i>Vedení V243, V244 z České republiky do Rakouska</i>	117
7	Zhodnocení dosažených výsledků a stanovení závěrů	122
	Seznam obrázků, grafů a tabulek	125
	Seznam použité literatury	132
	Seznam příloh	133

Úvod

Diplomová práce se zabývá otázkou rozboru technických ztrát na hraničních vedeních přenosové soustavy v České republice. Mezi technické ztráty, kterými se tato diplomová práce zabývá, jsou Jouleovy ztráty. Tyto ztráty v praxi způsobují na vedeních ZVN a VVN přenosové soustavy nezanedbatelnou část, proto se jimi budu zabývat podrobněji. Ztráty jsou způsobeny jednak procházejícím proudem vedením, nesprávným navržením a rozložením vodičů na stožárech a jejími parametry, dále pak Jouleovy ztráty ovlivňuje teplota vodičů i okolního prostředí, které působí na vodiče samotné. Diplomová práce je podložena množstvím reálných údajů z řídicího dispečinku ČEPS, a.s., a je práce rozdělena do více tematických celků.

V úvodní části diplomové práce je proveden technický rozbor samotné přenosové soustavy České republiky, dále se zabývá technickým popisem samotných hraničních vedení, jejími parametry a rozdělením na jednotlivé hraniční vedení pro jednotlivé přenosové soustavy zahraničních států. V další části je teoreticky rozebrána problematika technických ztrát na vedeních přenosové soustavy, kde se popisují Jouleovy ztráty, svodové ztráty a ztráty korónou. V diplomové práci je proveden i postup výpočtu Jouleových ztrát pomocí náhradního článku na vedení s následným zhodnocením výsledků do grafů. Při objasnění výpočtu Jouleových ztrát se diplomová práce zabývá praktickou částí, kde se porovnávají a zhodnocují výsledky naměřených na energetickém dispečinku ČEPS, a.s. V práci jsou dále uvedeny výsledky při zhodnocení podílu ztrát na hraničních vedeních a výsledky při simulaci výpadku popř. poruchy jednoho hraničního vedení.

Dosažené cíle diplomové práce:

- Zpracování teoretické části
- Odvození výpočtu Jouleových ztrát pomocí náhradního článku
- Použití metodiky výpočtu Jouleových ztrát na hraničních vedeních přenosové soustavy
- Analýza naměřených ztrát z dispečinku a jejich vyhodnocení
- Zhodnocení podílu ztrát na hraničních vedeních pro jednotlivé sousední státy
- Simulace odpojení jednoho vedení a zkoumání výsledků na modelovém stavu vedení

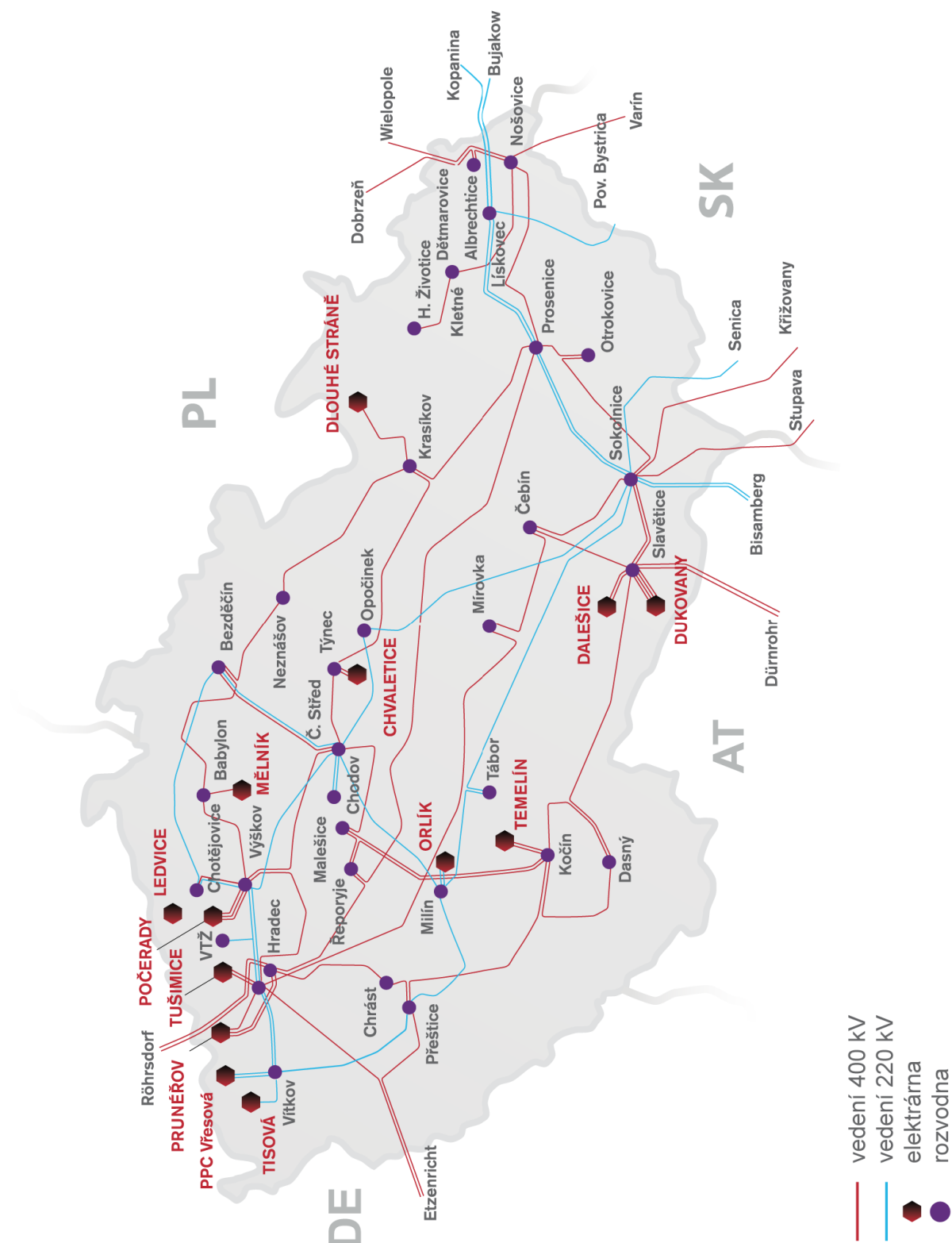
1 Teoretický rozbor vedení přenosové soustavy České republiky

V rámci elektrizační soustavy dochází k přenosu elektrické energie od místa výroby do místa spotřeby, kde jsou jednotliví odběratelé. Elektrizační soustava je soubor zařízení, které slouží pro výrobu, přenos a spotřebu elektrické energie. Tato soustava může být provozována samostatně, nebo jako součást propojených elektrizačních soustav. Skládá se z přenosové a distribuční (rozvodné) soustavy.

Úkolem přenosové soustavy je přenést elektrickou energii z míst výroby (elektráren) na velké vzdálenosti a s velkou účinností, tak aby byla tato síť vedení rovnoměrně rozprostřena po celém území republiky. Kdežto distribuční soustava (dále DS) je napájena z přenosové soustavy a zásobuje města a velké průmyslové podniky elektrickou energií, vzdálenosti distribučních soustav oproti přenosové soustavě jsou menší.

Přenosovou soustavu (dále PS) v České republice provozuje ze zákona společnost ČEPS, a.s. Tato společnost se řídí energetickým zákon č. 458/200 Sb. podle pravidel provozování přenosové soustavy, které jsou uvedeny v Kodexu přenosové soustavy.

Společnost ČEPS, a.s. zajišťuje také kromě přenosu elektrické energie i jiné aspekty spojené s přenosovou soustavou, mezi ně patří provoz elektrické soustavy, úkony spojené s údržbou, celkový rozvoj soustavy, dispečerské řízení celé soustavy. Mezi systémové služby společnosti ČEPS, a.s. patří činnosti, které zajišťují kvalitu přenesené energie, spolehlivost dodávky energie, podmínky pro propojení přenosové soustavy se zahraničím. Technicky řídí systémové služby jako je regulace výkonu, kmitočtu, dále regulace jalového výkonu, regulace napětí soustavy, a také řídí výkonové rezervy, které jsou zapotřebí.



Obr. 1.1 – Schéma přenosové soustavy České republiky k 1. 1. 2013 [10]

Tab. 1.1 – Popis všech zařízení přenosové soustavy České republiky [10]

Popis zařízení	Celkem ČR	Jednotky
Trasy vedení 400 kV	3 008	km
Trasy vedení 220 kV	1 349	km
Trasy vedení 110 kV	45	km
Délka vedení 400 kV	3 508	km
Délka vedení 220 kV	1 910	km
Délka vedení 110 kV	83	km
Zahraniční vedení 400 kV	11	ks
Zahraniční vedení 220 kV	6	ks
Rozvodny 420 kV	26	ks
Rozvodny 245 kV	14	ks
Rozvodny 123 kV	1	ks
Transformační výkon	19 980	MVA
Transformátory 400/220 kV	4	ks
Transformátory 400/110 kV	46	ks
Transformátory 220/110 kV	21	ks
Kompenzační výkon 400 kV	660	Mvar
Kompenzační výkon 35 kV	277,6	Mvar
Kompenzační výkon 10 kV	408,6	Mvar
Kompenzační uzly (tlumivky) 400 kV	4	ks
Kompenzační uzly (tlumivky) 35 kV	5	ks
Kompenzační uzly (tlumivky) 10 kV	9	ks

Tab. 1.2 – Popis vedení přenosové soustavy České republiky [10]

Popis zařízení	Délka vedení
	(km)
Vedení 400 kV	3508
z toho dvojitě a vícenásobné vedení	1145
Vedení 220 kV	1910
z toho dvojitě a vícenásobné vedení	1039
Vedení 110 kV	83
z toho dvojitě a vícenásobné vedení	77

Přenosová soustava v České republice je tvořena vedeními 400 kV, 220 kV a vybranými vedeními 110 kV. Tato soustava je tvořena nadzemními vedeními, která propojují významné uzly v soustavě na velké vzdálenosti s velkými výkony. Sítě ZVN 400 kV jsou tvořeny

převážně jako jednoduché se svazkovými vodiči, sítě VVN 220 kV jsou tvořeny dvojitým potahem a v provedení jedno vodičově.

Přenosovou soustavu ČEPS, a.s. tvoří 41 rozvoden s nejvyšším napětím 420 kV a 245 kV, kde nejnovější rozvodnu 420 kV tvoří rozvodna Kletné, která byla uvedena do provozu 1. ledna 2012 a byla postavena za účelem posílení výkonu do Ostravské aglomerace kvůli novým odběrům a výrobě. Dále PS obsahuje 71 transformátorů pro obě nejvyšší napětíové hladiny. Přenosovou soustavu tvoří také 1 rozvodna na hladině napětí 123 kV, a to rozvodna Kočín s délkou 83 km vybraných tras vedení 110 kV. Soustavy 110 kV v 70. letech postupně převzaly úlohu jako napájecí uzly distribučních sítí. Trasy 220 kV byly začátkem 70. let ukončeny a nebudou se již rozvíjet, dnes plní pouze funkci záložních a doplňkových vedení.

Přenosovou soustavu netvoří jen vedení, po kterých se elektrická energie přenáší, ale také i jiná zařízení bez kterých se soustava neobejde, jsou to například transformátory velkých výkonů, výkonové vypínače, odpojovače, přístrojové transformátory proudu a napětí a další.

I když páteřní přenosová soustava byla dokončena v 80. letech minulého století, tak neustále se zvyšuje spotřeba elektrické energie a stávající rozvodny a vedení nestačí usnést, tak velký přenášený výkon. Proto se přistoupilo k modernizaci elektrických zařízení celkovou rekonstrukcí a novou výstavbou.

Pro ukázkou rozvoje přenosové soustavy v České republice a výstavby nových rozvoden a vedení jsem sestavil tabulky, která ukazuje, jak se bude přenosová soustava měnit s postupem několika let.

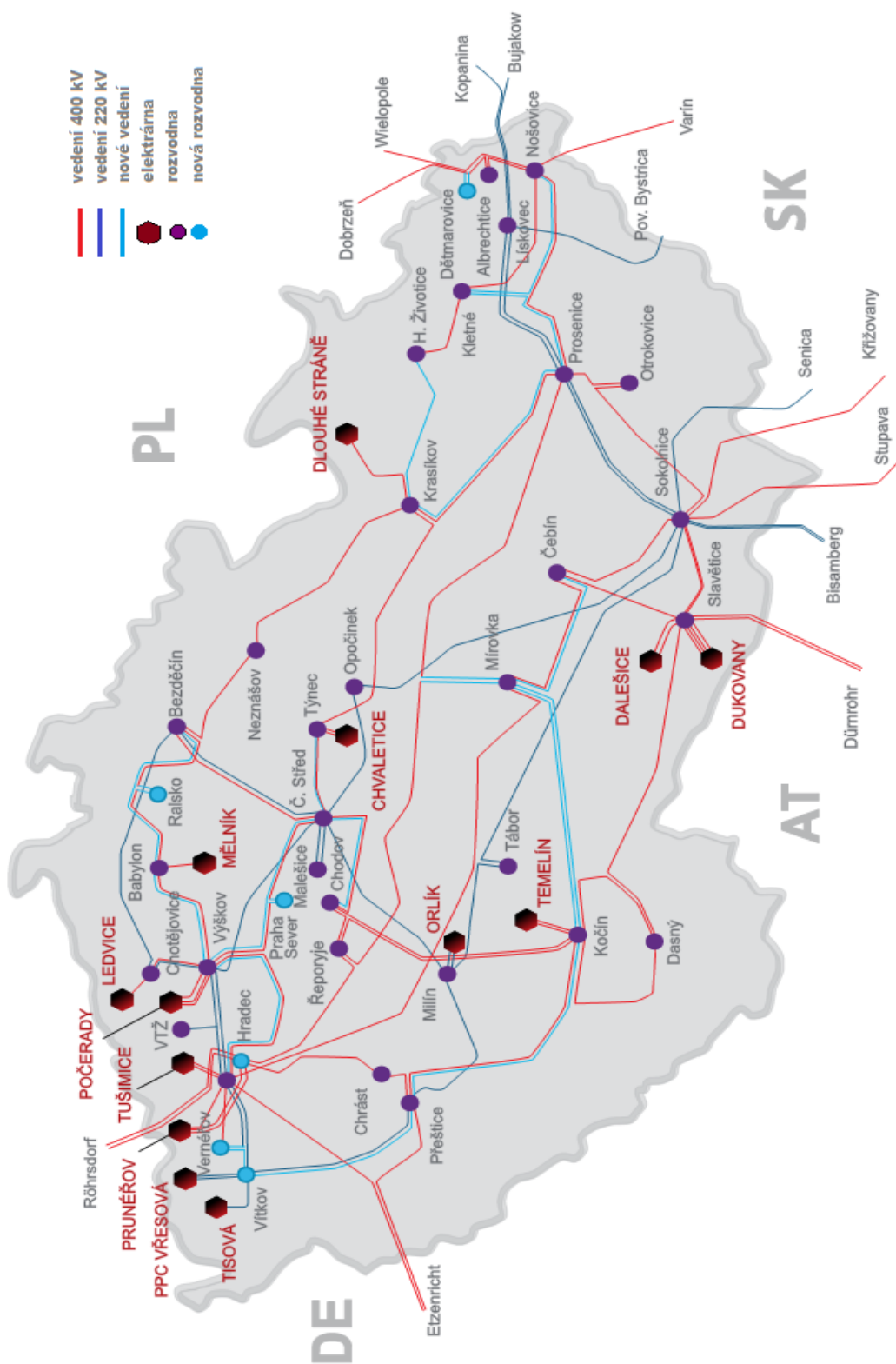
Tab. 1.3 – Rozvoj přenosové soustavy České republiky [11]

Název stavby	Délka vedení (km)	Začátek stavby	Konec stavby
V400 Čechy Střed - Týnec*	46,2	2022	2023
V402 Krasíkov - Prosenice*	87,6	2022	2023
V406/V407 Kočín - Mírovka**	120	2018	2020
V410/V419 Výškov - Čechy Střed*	98,3	2014	2016
V411 Hradec - Výškov*	45,3	2022	2023
Zasmyčkování vedení V413 do rozvodny Mírovka**	25	2018	2019
V415 Chodov - Čechy Střed*	35,1	2019	2020
V422 Mírovka - Čebín*	88,5	2022	2024
V432 Kočín - Přestice*	115,8	2022	2024
Zasmyčkování vedení V443/V444 do rozvodny Dětmárovice**	1,2	2020	2021
V450/V428 Výškov - Babylon*	72,5	2017	2018
V451/V448 Babylon - Bezděčín*	54	2015	2017
V456 Prosenice - Kletné**	73	2021	2022
V458 Krasíkov - Horní Životice**	79,3	2012	2014
V487/V488 Verněřov - Vítkov**	75	2018	2019
V490/V491 Přestice - Vítkov**	87	2020	2021
Rozvodna Babylon, komplexní rekonstrukce	-	2013	2015
Rozvodna Bezděčín, komplexní rekonstrukce	-	2013	2014
Rozvodna Čebín, komplexní rekonstrukce	-	2013	2016
Rozvodna Čechy střed, komplexní rekonstrukce	-	2013	2017
Rozvodna Dětmárovice, nová rozvodna 400 kV	-	2019	2020
Rozvodna Hradec, nový phaseshiftový transformátor	-	2016	2017
Rozvodna Kočín, komplexní rekonstrukce	-	2016	2022
Rozvodna Lískovec, komplexní rekonstrukce	-	2013	2015
Rozvodna Mírovka, komplexní rekonstrukce	-	2013	2015
Rozvodna Otrokovice, komplexní rekonstrukce	-	2015	2018
Rozvodna Chodov, nový transformátor	-	2014	2014
Rozvodna Praha-Sever, nová rozvodna 400 kV	-	2021	2022
Rozvodna Ralsko, nová rozvodna	-	2016	2017
Rozvodna Vítkov, nová rozvodna 400 kV	-	2018	2020
Rozvodna Verněřov, nová rozvodna 400 kV	-	2015	2017

Legenda: * Zdvojení stávajícího vedení

** Nové vedení 400 kV

Nejdůležitější aspekty výstavby jsem označil, tyto aspekty představují pro oblast Moravy nové možnosti a to vybudování nové rozvodny 400 kV v Dětmárovicích a nového vedení z Krasíkova do Horních Životic. Dále aspekty pro rozvoj soustavy České republiky, kde jedním velkým rozvojem bude umístění, PST (Phase Shifting Transformers) transformátoru do rozvodny Hradec, který výrazně ovlivní toky činných výkonů z Německa přes naše území do Rakouska, i jiných sousedních států.



Obr. 1.2 – Schéma rozvoje přenosové soustavy České republiky [11]

2 Technický rozbor parametrů hraničních vedení VVN a ZVN v ČR

Řízení elektrizační soustavy se zdroji energie, které jsou propojeny sítí elektrických vedení mají na starost dva dispečinky společnosti ČEPS, a.s. Hlavní dispečink České republiky sídlí v Praze – Bohdalci a druhý jako záložní dispečink nazývaný Moravský dispečink sídlí v Ostravě – Mariánských Horách. Celou přenosovou soustavu v České republice tvoří sítě napěťových hladin 400 kV, 220 kV a 110 kV.

Celková délka těchto vedení činí 5501 km, vedení 400 kV tvoří 3508 km (63,77 %), vedení 220 kV tvoří 1910 km (34,72 %) a vedení 110 kV tvoří 83 km (1,51 %).

Elektrickou energii nelze skladovat, ale musí se okamžitě spotřebovat pro zajištění rovnováhy mezi spotřebou a výrobou elektrické energie.

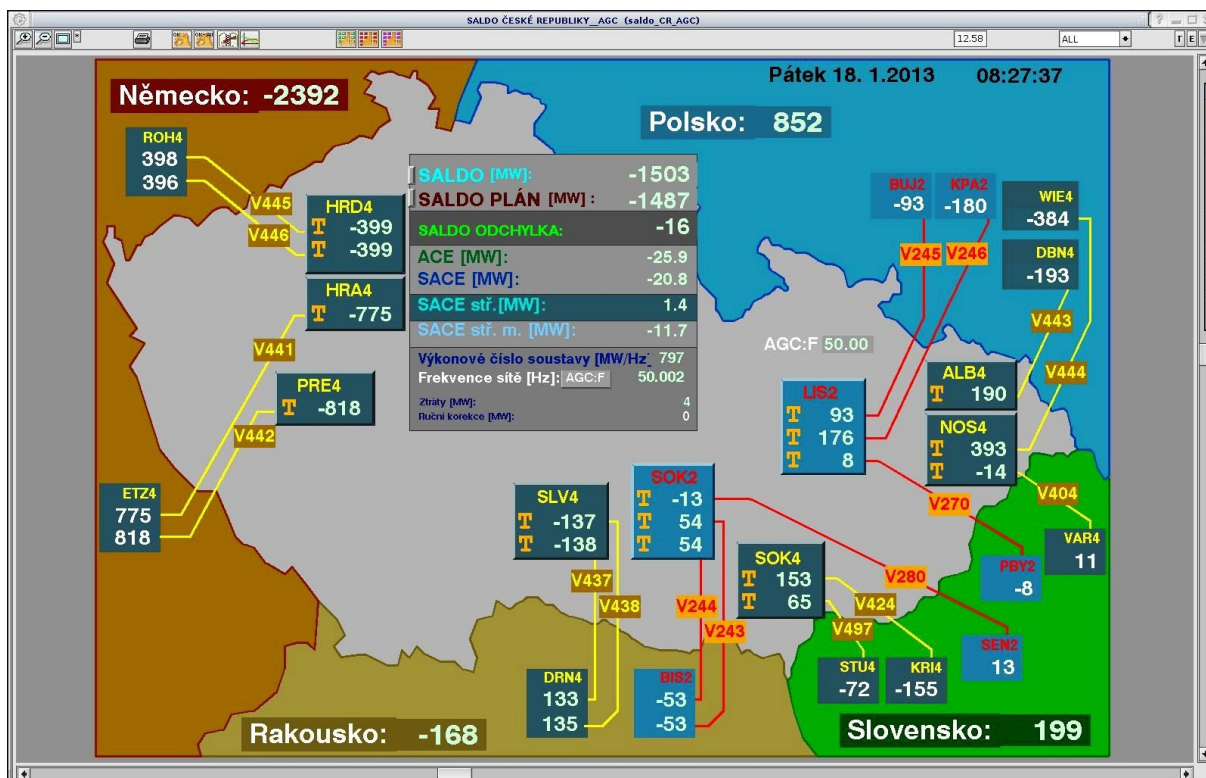
Regulací elektrizační soustavy, lze zajistit lepší a vyšší schopnost regulace, proto jsou soustavy vzájemně propojeny vedeními mezi sebou a tvoří tak jednu velkou elektrizační soustavu s evropskými státy.

2.1 Popis hraničních vedení České republiky do zahraničí

Přenosová soustava České republiky je propojena i se sousedními státy přeshraničními vedeními, které propojují elektrizační soustavu s dalšími sousedními státy, a tím synchronně spolupracuje s celou přenosovou soustavou kontinentální Evropy.

ČEPS, a.s. jako provozovatel přenosové soustavy České republiky spolupracuje mezistátně především se svými sousedními partnery. Mezi tyto sousední partnery a provozovatele soustav patří Německo (50 Hertz Transmission, TenneT TSO), Rakousko (Austrian Power Grid), Slovensko (SEPS) a Polsko (PSE Operator). Mezi další státy, se kterými spolupracuje ČEPS, a.s. a jsou součástí sdružení CEE TSO (Central Eastern European transmission system operators), je sdružení osmi středoevropských provozovatelů přenosových soustav (TSO) patří Slovinsko (ELES) a Maďarsko (MAVIR) [12].

Přenosová soustava České republiky má sedmnáct hraničních vedení, z toho jedenáct je na napěťové hladině 400 kV a šest na napěťové hladině 220 kV. Ukázka uspořádání hraničních vedení mezi okolními státy je zobrazeno na *obr. 2.1*, který je stažen z řídicího energetického dispečinku v Ostravě.



Obr. 2.1 – Propojení České republiky s okolními státy pomocí hraničních vedení ukázka z energetického dispečinku ČEPS, a.s. [9]

Z oblasti Čechy jsou do Německa vyvedeny čtyři vedení o napěťové hladině 400 kV a to paralelní vedení V445 a V446 z rozvodny Hradce – východu do rozvodny Röhrsdorf. Dále vedení V441 z rozvodny Hradec – západ do rozvodny Etzenricht a vedení V442 z rozvodny Přeštice do rozvodny Etzenrichtu. Z oblasti Moravy jsou do rakouského profilu vyvedeny dvě paralelní vedení v napěťové hladině 400 kV s označením V437 a V438, které vedou z rozvodny Slavětice do rozvodny Dürnrohr. Do tohoto profilu vedou ještě dvě paralelní vedení o napěťové hladině 220 kV z rozvodny Sokolnice do rozvodny Bisamberg. Třetí zemí, která je propojená s Českou republikou hraničními vedeními je Slovensko. Z oblasti Moravy vedou do slovenského profilu tři vedení o napěťové hladině 400 kV a dvě vedení o napěťové hladině 220 kV. Dvě vedení 400 kV vedou z rozvodny Sokolnice do rozvodny Křižovany a to V424 a vedení V497 do rozvodny Stupava. Třetí vedení V404 vede z rozvodny Nošovice do rozvodny Varín. Další dvě vedení 220 kV jsou V280 z rozvodny Sokolnice do rozvodny Senica a V270 z rozvodny Lískovec do rozvodny Považská Bystrica. Poslední čtvrtou zemí, se kterou je propojená Česká republika je Polsko. Do tohoto profilu vedou dvě vedení v napěťové hladině 400 kV a to vedení V443 z rozvodny Albrechtice do rozvodny Dobrzeň a vedení V444 z rozvodny Nošovice do rozvodny Wielopole. Poslední dvě vedení z napěťové

hladiny 220 kV vedou z rozvodny Lískovec do rozvodny Bujakow vedení V245 a V246 do rozvodny Kopanina.

Pro lepší představení všech hraničních vedení jsem vypracoval tabulky, kde jsou popsány vedení všech profilů sousedních zemí, z jakých rozveden začínají a končí, dále jejich zkratky užívané pro energetický dispečink a délku vedení.

Hraniční vedení napět'ové hladiny 400 kV

Tab. 2.1 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí do Německa přenosové soustavy 50 Hertz Transmission [9]

Hraniční vedení z České republiky do Německa					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Německo	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V445	Hradec - východ	HRD4	Röhrsdorf	DROH4	81,54
V446	Hradec - východ	HRD4	Röhrsdorf	DROH4	81,54

Tab. 2.2 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí do Německa přenosové soustavy TenneT TSO [9]

Hraniční vedení z České republiky do Německa					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Německo	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V441	Hradec - západ	HRA4	Etzenricht	DETZ4	162,69
V442	Přeštice	PRE4	Etzenricht	DETZ4	109,51

Tab. 2.3 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí Rakouska přenosové soustavy Austrian Power Grid [9]

Hraniční vedení z České republiky do Rakouska					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Rakousko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V437	Slavětice	SLV4	Dürnrohr	ADRN4	96,07
V438	Slavětice	SLV4	Dürnrohr	ADRN4	96,07

Tab. 2.4 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí na Slovensko přenosové soustavy SEPS [9]

Hraniční vedení z České republiky na Slovensko					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Slovensko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V404	Nošovice	NOS4	Varín	SVAR4	75,10
V424	Sokolnice	SOK4	Křižovany	SKRI4	125,82
V497	Sokolnice	SOK4	Stupava	STU4	110,68

Tab. 2.5 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí do Polska přenosové soustavy PSE Operator [9]

Hraniční vedení z České republiky do Polska					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Polsko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V443	Albrechtice	ALB4	Dobrzeň	PDBN4	157,31
V444	Nošovice	NOS4	Wielopole	PWIE4	86,93

Hraniční vedení napět'ové hladiny 220 kV

Tab. 2.6 – Hraniční vedení 220 kV vedoucí Rakouska přenosové soustavy Austrian Power Grid [9]

Hraniční vedení z České republiky do Rakouska					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Rakousko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V243	Sokolnice	SOK2	Bisamberg	BIS2	127,90
V244	Sokolnice	SOK2	Bisamberg	BIS2	127,90

Tab. 2.7 – Hraniční vedení 220 kV vedoucí na Slovensko přenosové soustavy SEPS [9]

Hraniční vedení z České republiky na Slovensko					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Slovensko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V270	Lískovec	LIS2	Považská Bystrica	PBY2	96,07
V280	Sokolnice	SOK2	Senica	SEN2	93,33

Tab. 2.8 – Hraniční vedení 220 kV vedoucí do Polska přenosové soustavy PSE Operator [9]

Hraniční vedení z České republiky do Polska					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Polsko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V245	Lískovec	LIS2	Bujakow	BUJ2	85,18
V246	Lískovec	LIS2	Kopanina	KOP2	84,04

2.2 Parametry hraničních vedení České republiky do zahraničí

V této podkapitole si představíme parametry hraničních vedení z České republiky do zahraničních zemí. Do těchto parametrů budou zahrnuty délky všech vedení, jejich činný odpor, reaktance, susceptance, vlnová impedance vedení a proud, kterým je možno dané vedení zatížit.

Tab. 2.9 – Parametry hraničních vedení 400 kV z ČR do zahraničí [9]

Hraniční vedení 400 kV							
Číslo vedení	Zatížitelnost	Maximální proud	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(A)	(A)	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V404	1740	1740	75,10	2,14	23,85	262	302
V424	1740	1740	125,82	3,60	37,95	463	286
V437	2250	2250	96,07	2,07	28,54	375	276
V438	2250	2250	96,07	2,07	28,54	375	276
V441	1968	1968	162,69	3,39	43,79	646	260
V442	1968	1968	109,51	2,41	29,11	445	256
V443	2100	2000	157,31	4,67	49,01	595	287
V444	2100	2000	86,93	2,53	23,48	418	237
V445	1740	1740	81,54	2,46	21,89	349	250
V446	1740	1740	81,54	2,46	21,89	349	250
V497	1968	1968	110,68	2,30	30,90	429	268

Tab. 2.10 – Parametry hraničních vedení 220 kV z ČR do zahraničí [9]

Hraniční vedení 220 kV							
Číslo vedení	Zatížitelnost	Maximální proud	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(A)	(A)	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V243	779	779	127,90	10,50	51,20	343	386
V244	779	779	127,90	10,50	51,20	343	386
V245	1050	1050	85,18	6,02	33,68	224	388
V246	1050	1050	84,04	5,84	33,42	238	375
V270	580	580	95,11	7,86	38,46	241	399
V280	580	580	93,33	5,91	37,09	239	394

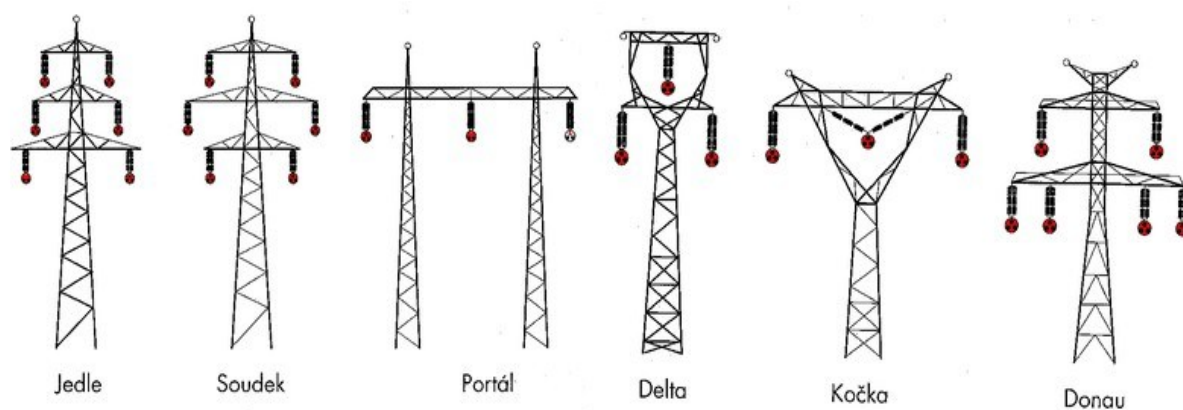
3 Teorie ztrát elektrické energie vedení VVN a ZVN

Ztráty elektrické energie můžeme rozdělit do dvou větších celků, na ztráty technické a ztráty obchodní. Ztráty obchodní jsou způsobeny chybami na měřicích přístrojích a nebudeme se jimi v této práci zabývat hlouběji. Tématem této diplomové práce jsou technické ztráty, které se určují:

- Měřením – přímo z měření
- Výpočtem – nepřímo z měření

Ztráty výpočtem se určují velice náročně a jsou velice zdoluhavé.

Při zmínění slova ztráty nás napadne slovo účinnost, které nám říká jak je celé zařízení účinné z hlediska ztrát. Při návrhu vedení je účinnost přenosu elektrické energie velice důležitá. Bude nás proto velice zajímat, s jakou účinností je vedení provozováno, protože v dnešní době stále nejsou materiály, které jsou bezetrátové. Tudíž je účinnost daná kompromisem z hlediska ekonomiky a technického směru. Vedení, které se vyrábí a které je tvořeno podpěrnými body – příhradovými stožáry, izolátory, AlFe vodiči, zemními lany, apod. Podpěrné body VVN a ZVN jsou zkonstruovány z příhradových stožárů s betonovým základem, jejich správný návrh a rozmístění vodičů velice ovlivňuje účinnost celého přenosu a jejich ztráty [7].



Obr. 3.1 – Podpěrné body VVN a ZVN

Účinnost přenosu na elektrickém vedení můžeme vyjádřit podle vztahu (3.1) jako poměr výkonu na konci vedení k příkonu na začátku vedení.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \quad (\%) \quad (3.1)$$

η	účinnost	(%)
P_1	příkon dodaný na začátku vedení	(W)
P_2	výkon přivedený na konec vedení	(W)

Když známe parametry výkonu na začátku a na konci, tak můžeme jednoduše vyjádřit výkonové ztráty, které vznikají mezi těmito body a jsou dány jako rozdíl parametrů na začátku a na konci.

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (\text{W}) \quad (3.2)$$

ΔP	výkonové ztráty	(W)
P_1	příkon dodaný na začátku vedení	(W)
P_2	výkon přivedený na konec vedení	(W)

Technické ztráty vznikají podle fyzikálního provozu v distribuci energie, přeměnou energie v teplo (nelze tuto energii dále uplatňovat). Technické ztráty rozdělujeme do dvou skupin:

- Technické ztráty stálé
 - Ztráty korónou
 - Ztráty svodem
 - Ztráty dielektrické
 - Ztráty transformátoru naprázdno
- Technické ztráty proměnné
 - Ztráty Jouleovy
 - Ztráty transformátoru nakrátko

Technické ztráty stále nezávisí na množství přenesené elektrické energie, ale na distribučních parametrech.

Technické ztráty proměnné mají přímou souvislost s přenášeným výkonem, proto proměnné nejsou stálé.

3.1 Jouleovy ztráty

Jouleovy ztráty vznikají v přenosu a distribuci elektrické energie ve všech úrovních napětí, jde o nejvýznamnější ztráty v tomto odvětví. Průchodem proudu vodičem vzniká teplo, které je úměrné druhé mocnině proudu který prochází daným vodičem.

Vedení je tvořeno vodičem, který může být zhotoven z různých druhů materiálů a slouží k vedení elektrického proudu. Materiály vodičů používané nejčastěji v elektrotechnice jsou měď (Cu), hliník (Al), ocel. Schopnost materiálu vést nebo nevést elektrický proud je dán složením atomů každé látky, a to v závislosti na počtu volných elektronů v daném materiálu a na jejich vazbách.

Podle tohoto hlediska můžeme látky rozdělit do skupin:

- Izolanty
- Vodiče
- Polovodiče
- Supravodiče

Čím má látka nebo daný materiál více volných elektronů, tím více bude vést elektrický proud, s menší rezistencí. V elektroenergetice budeme uvažovat pouze první dva druhy materiálu vodiče a izolanty.

Při vyjádření Jouleových ztrát pomocí rezistence vycházíme z Ohmova zákona, který říká:

Činný odpor vodiče je závislý přímo úměrně délce vedení a nepřímo úměrně průřezu vodiče.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S_v} \quad (\Omega) \quad (3.3)$$

R	odpor vedení	(Ω)
ρ	měrný odpor vodiče	$(\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1})$
l	délka vodiče	(m)
S_v	průřez vodiče	(mm^2)

Činný odpor se udává při teplotě 20°C. Platí, že s rostoucí teplotou roste a naopak. Tato závislost je dána teplotním součinitelem odporu α . Závislost činného odporu na teplotě nám udává vztah: [1]

$$R_\vartheta = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \quad (\Omega) \quad (3.4)$$

R_ϑ	odpor vedení při teplotě ϑ	(Ω)
R_{20}	odpor vodiče při teplot 20°C	(Ω)
α	teplotní součinitel odporu	(K^{-1})
$\Delta\vartheta$	rozdíl teplot od 20°C	(K)

Z vzorce je zřejmé, že závislost činného odporu na teplotě se bude výrazně měnit s přenášeným výkonem v závislosti na venkovní teplotě i na typu vodiče. K přenosu elektrické energie používáme vodiče typu AlFe, kde plášť je tvořen hliníkovými vodiči a jádro uvnitř je z oceli. Tyto lana mají své specifické parametry uvedené na jednotku délky převážně v kilometrech a lze je najít v katalogu firem, které je vyrábějí. Proto výsledná hodnota rezistence je určena součinem délky vedení a rezistencí, která je vztažena na jednotku délky. Pro výsledný činný odpor pak platí vztah: [1]

$$R_C = R_K \cdot l \quad (\Omega) \quad (3.5)$$

R_c	celkový odpor vedení	(Ω)
R_k	odpor vztažený na jednotku délky	$(\Omega \cdot \text{km}^{-1})$
l	délka vedení	(km)

Pro stanovení ztrát na vedení můžeme vyjádřit vztah, pro který platí:

$$\Delta P = k_z \cdot R_C \cdot I^2 \quad (\text{W}) \quad (3.6)$$

Vyjádření proudu a následné dosazení do rovnice (3.6)

$$P = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (\text{W}) \quad (3.7)$$

$$P^2 = \sqrt{3}^2 \cdot U_s^2 \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi \quad (\text{W}) \quad (3.8)$$

$$I^2 = \frac{P^2}{3 \cdot U_s^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\text{A}) \quad (3.9)$$

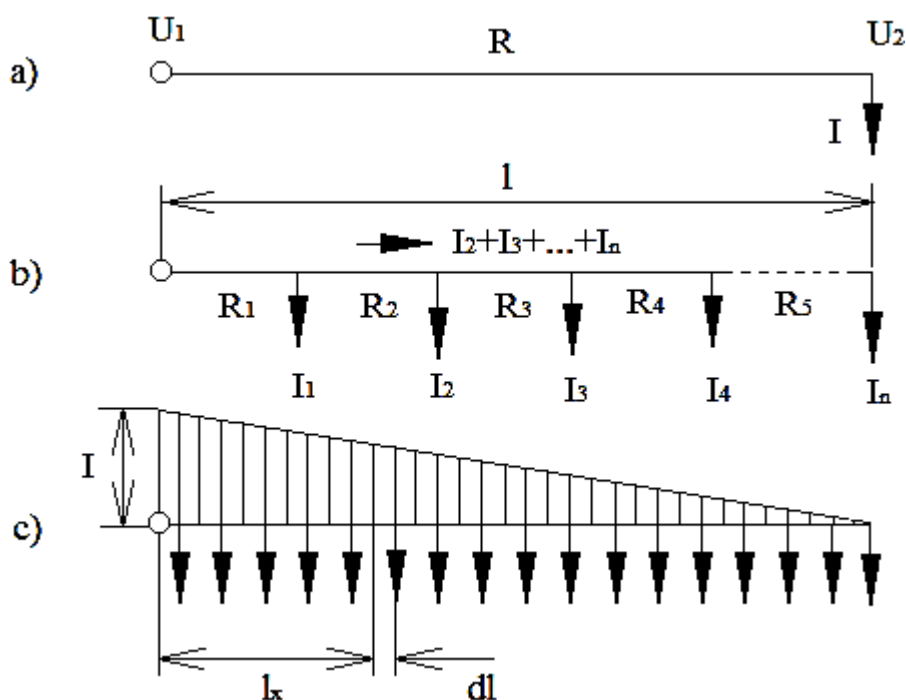
$$\Delta P = k_z \cdot R_C \cdot I^2 = k_z \cdot R_C \cdot \frac{P^2}{3 \cdot U_s^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (\text{W}) \quad (3.10)$$

ΔP	výkonové ztráty	(W)
R_C	celkový odpor vedení	(Ω)
k_z	koeficient zatížení	(-)
U_s	sdrožené napětí	(V)
I	proud	(A)
$\cos \varphi$	účinník	(-)

Koeficient zatížení může nabývat hodnot 1 až 3, to zaleží na rozložení odběrů na vedení. Koeficient zatížení k_z je roven 3 v případě, že vedení nemá po své délce žádný odběr, odběr je pouze na konci vedení, tudíž můžeme říci, že vedením prochází stejný proud po jeho délce až k místu odběru. Takový předpoklad lze uvažovat u sítí ZVN a VVN. U sítí NN, které mají po své délce jednotlivé odběry koeficient zatížení k_z roven 1.

V prvním případě na *obr. 3.2a* to jsou většinou vedení VVN a ZVN a částečně i VN, pro druhý případ *obr. 3.2b* to jsou vedení VN a v posledním případě dle *obr. 3.2c* to jsou všechny vedení NN

Pro znázornění rozložení odběru, lze pozorovat na *obr 3.2* [6]



Obr. 3.2 – Rozložení odběru na vedení

3.2 Ztráty svodem

Ztráty svodem jsou jedním ze čtyř parametrů příčné admitance vedení ZVN a VVN, u těchto hladin se ztráty nezanedbávají, neboť jejich velikost dosahuje velkých hodnot. V praxi neexistuje totiž absolutní elektrický izolant, proto při provozu vedení za nepříznivých podmínek prochází přes izolátory a stožár svodový proud do země.

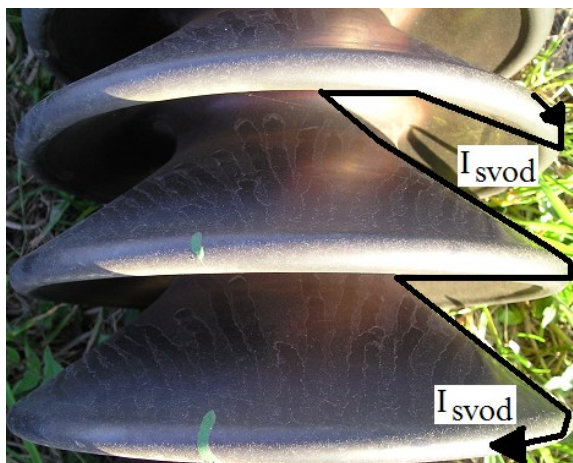
Svodové ztráty mají činný charakter, dají se obtížně spočítat a podílí se nezanedbatelnou částí na technických ztrátách. U venkovních vedení ZVN a VVN jsou ztráty způsobeny znečištěním izolátorů, vlhkem, deštěm, korónou a špatně provedenou izolací. Nedokonalá izolace může být způsobena vrstvou nečistot, které se usazují na izolátorovém řetězci. Když nečistoty dosáhnou zvýšených hodnot, teče jimi svodový proud, který způsobuje tyto ztráty.

Svodové ztráty lze vyjádřit podle vztahu:

$$\Delta P_S = 3 \cdot U_f^2 \cdot G_S = 3 \cdot \left(\frac{U_S}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot G_S = U_S^2 \cdot G_S \quad (\text{W} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (3.11)$$

ΔP_S	svodové ztráty	$(\text{W} \cdot \text{km}^{-1})$
U_f	fázová hodnota napětí	(V)
U_S	sdružená hodnota napětí	(V)
G_S	svodová vodivost	$(\text{S} \cdot \text{km}^{-1})$

Ztráty svodem negativně ovlivňují stárnutí izolátorů. Snížení svodových ztrát se může dosáhnout novými čistými izolátory, nebo vhodným tvarem uspořádáním izolátorů.



Obr. 3.3 – Ukázka znečištění izolátoru a toku svodového proudu po povrchu izolátoru [6]

Svodový proud má charakter činného proudu, tyto ztráty se velice obtížně zjišťují výpočtem, ale dají se v praxi určit měřením na vedeních. Tyto hodnoty naměřených ztrát jsou ovlivněny počasím. Počasí ovlivňuje svodové ztráty, když je sucho, vlhko, déšť, mlha a jiné stavy. Dále svodové ztráty a proud ovlivňuje i venkovní teplota. V tabulce 3.1 jsou pro ukázkou naměřené hodnoty svodových ztrát na vedeních [6].

Tab. 3.1 – Svodové ztráty uvedené na kilometr délky pro danou hladinu napětí [5]

napětí (kV)	110	220	400
svodové ztráty $(\text{W} \cdot \text{km}^{-1})$	70 - 3600	120 - 770	160 - 1400

3.3 Ztráty korónou

Při rozboru technických ztrát musíme brát na vědomí i další ztráty a tím jsou ztráty korónou. Tyto ztráty způsobuje samostatný výboj, který má temně fialovou barvu a je doprovázen sršivými zvuky. Koróna vzniká na vodičích, při překročení dielektrické pevnosti vzduchu přibližně $30 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$, tedy překročení počátečního napětí. Toto napětí je závislé na atmosférických vlivech, fyzikálních rozměrech a površích vodičů.

Mezi atmosférické vlivy můžeme zařadit:

- Teplota
- Tlak
- Vlhkost
- Mlha
- Jinovatka
- Déšť
- Sníh

Vztah pro počáteční napětí koróny lze vyjádřit podle Peekova vztahu [3]

$$U_0 = 21,1 \cdot \delta \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot r \cdot \ln \frac{d}{r} \quad (\text{kV}) \quad (3.12)$$

U_0	počáteční napětí koróny	(kV)
δ	relativní hustota vzduchu	(-)
m_1	vliv povrchu vodiče	(-)
m_2	vliv počasí	(-)
r	poloměr vodiče	(cm)
d	střední vzdálenost vodiče	(cm)

Střední vzdálenost vodičů je dána vztahem [2]

$$d = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} \quad (\text{cm}) \quad (3.13)$$

Pro vedení tvořené svazkovými vodiči s n-svazkem platí vztah pro ekvivalentní poloměr:

$$r_e = \sqrt[n]{r \cdot a^{(n-1)}} \quad (\text{cm}) \quad (3.14)$$

r_e	ekvivalentní poloměr	(cm)
n	počet vodičů ve svazku	(-)
a	vzdálenost vodičů ve svazku	(cm)

Z předchozího vzorce je zřejmé, že počáteční napětí koróny je hodně ovlivněno geometrickými rozměry vodiče, stavem povrchu a okolním prostředím. Ztráty korónou jsou způsobeny nedokonalostí izolátorů neboli izolace a lze je vyjádřit podle Peekova vztahu [3].

$$\Delta P_k = k \cdot (U_f - U_0) \cdot 10^{-5} \quad (\text{W} \cdot \text{km}^{-1}) \quad (3.15)$$

ΔP_k	ztráty korónou	(W·km ⁻¹)
U_f	fázová hodnota napětí	(kV)
U_0	počáteční hodnota napětí	(kV)
k	koeficient	(-)

$$k = \frac{241}{\delta} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \quad (-) \quad (3.16)$$

k	koeficient	(-)
f	kmitočet	(Hz)
r	poloměr vodiče	(cm)
d	střední vzdálenost vodiče	(cm)

Hodnota 25 je přičtena k frekvenci v případě stejnosměrné koróny.

Koróna má nejen vliv na přenosové ztráty, které jsou menší než 1 kW·km⁻¹, ale způsobuje i vysokofrekvenční rušení v komunikační technice. Výhodou koróny je, že snižuje přepět'ové vlny, které vznikají při úderu blesku do vedení a šíří se směrem od místa zásahu. Snižováním ztrát korónou docílíme čistoty povrchu vodiče a n-svazkovým vedením a to u vedení ZVN nejčastěji troj svazkem u vedení VVN dvou svazkem.

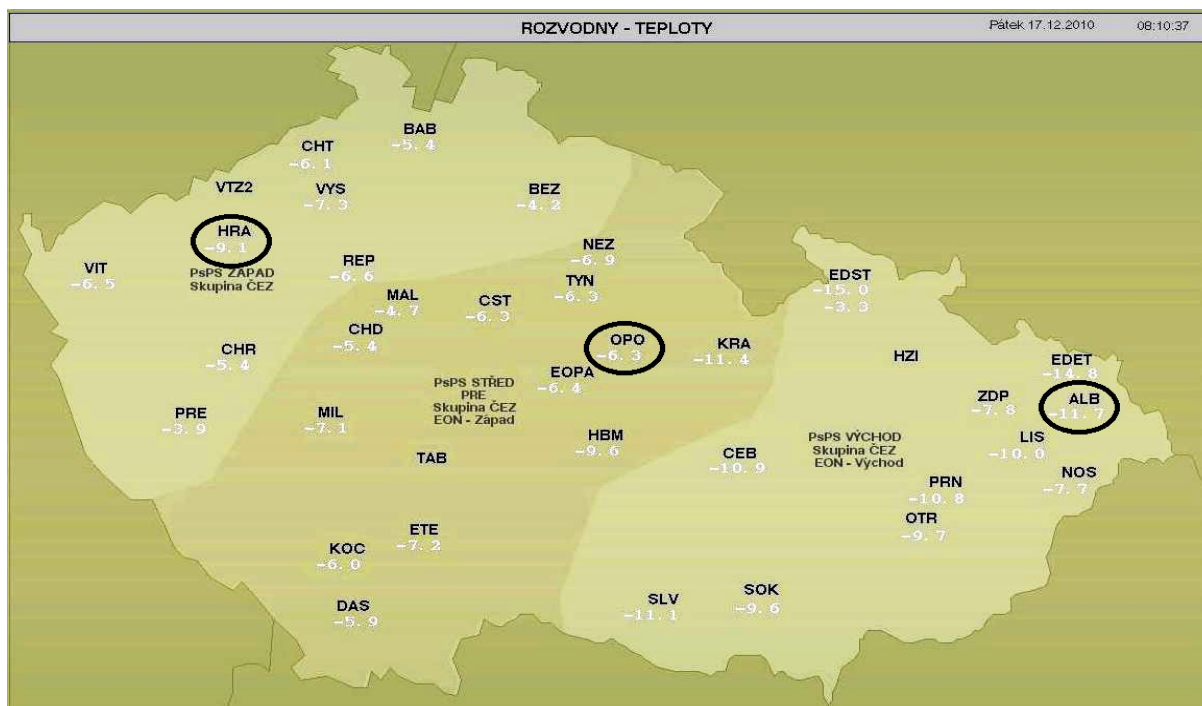
4 Analýza databáze měřených Jouleových ztrát hraničních vedení VVN a ZVN ve vybraném zimním a letním období

Elektrické ztráty způsobují na vedení převážnou část z vyrobené energie, která není využita a tvoří určité náklady. Proto se v této práci se zaměřím na Jouleovy ztráty na vedeních VVN a ZVN, které patří ke třem nejzákladnějším technickým ztrátám, vedle ztrát korónou a ztrátám svodem. Pro správnou analýzu Jouleových ztrát jsem potřeboval potřebné data a údaje od společnosti ČEPS, a.s. například data k potřebným hraničním vedením (činný výkon, jalový výkon, napětí, proud, měřené celkové technické ztráty a také měřené technické ztráty na vedeních a další údaje), které jsem získal z řídicího systému dispečinku v Ostravě.

Dále pro analýzu ztrát jsem vypracovával údaje a vyhodnocoval chování vedení z hlediska teploty na různých místech České republiky a to procházejícího proudu na vedení a přirozeného výkonu, ve třech ročních obdobích (léto, podzim, zima). Data pro letní období byla z měsíce července z dnů 3. 7. – 10. 7. 2012. Pro podzimní období z měsíce září z dnů 9. 9. – 16. 9. 2012 pro zimní období z měsíce prosinec z dnů 6. 12. – 13. 12. 2012. Vybrané data pro určité roční období, byly určeny z důvodů posouzení výsledků a chování parametrů na vedeních vůči teplotě okolí, nebo v těchto ročních obdobích se podstatně mění okolní teplota.

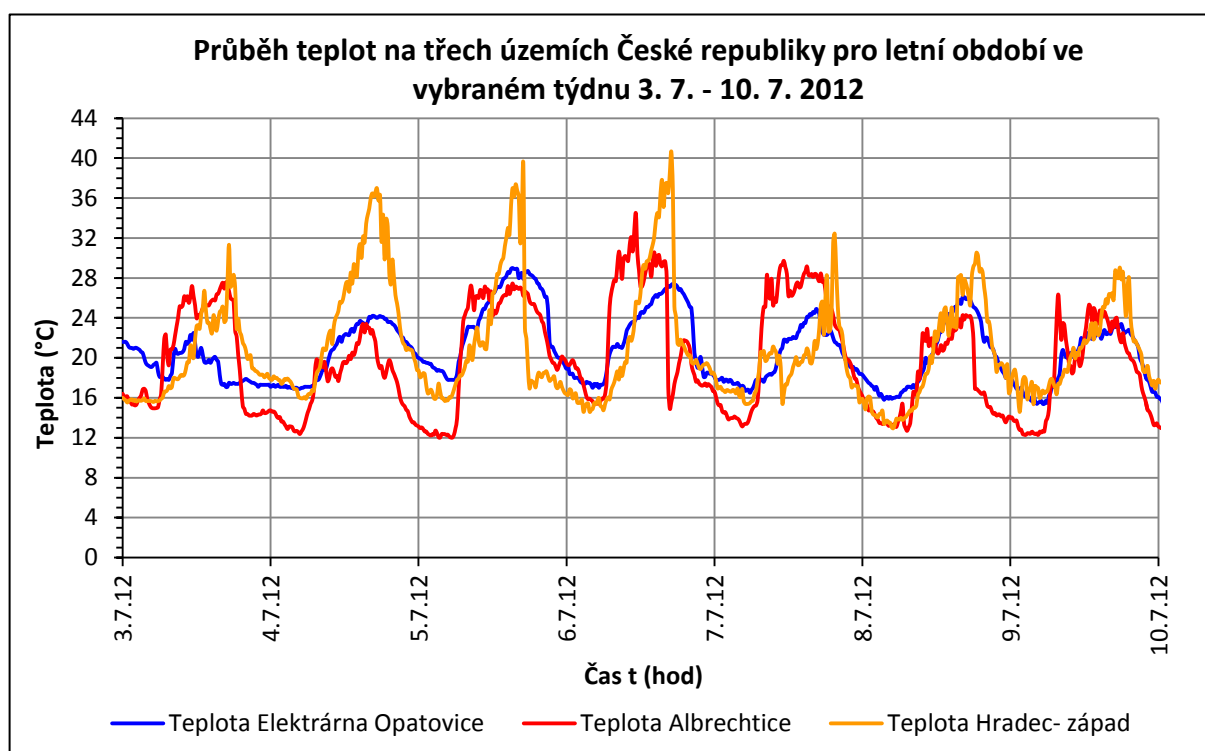
4.1 Průběh teploty na určitých místech České republiky

V této podkapitole budou ukázány průběhy teplot, měřené na třech místech České republiky. Tato místa se nacházejí v Severozápadních Čechách a to v rozvodně Hradec – západ, dále v Severovýchodních Čechách a to Elektrárna Opatovice, posledním místem je Severní Morava a rozvodna Albrechtice. Podle vypracovaných průběhů do grafů, lze sledovat, jak se daná teplota měnila v závislosti na čase, v dané lokalitě. Pro představu, jsou tato místa vyznačena na *obr. 4.1*.



Obr. 4.1 – Přehled měřených teplot v objektech ČEPS, a.s. na dispečerském pracovišti ZDP Ostrava [9]

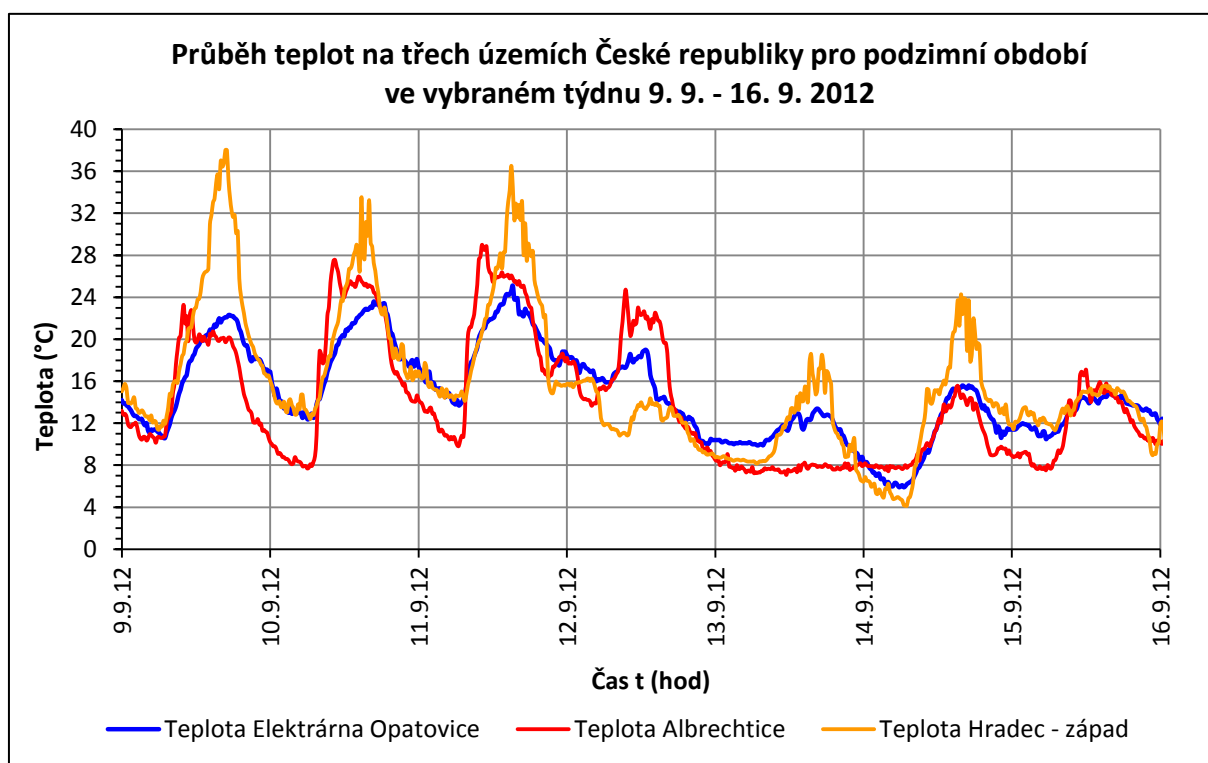
Letní období – týdenní data



Graf 4.1 – Průběh venkovní teploty na územích ČR pro letní období vybraného týdne 3. 7. - 10. 7. 2012

Teploty v letním období se pohybovaly ráno v rozmezí od 12 °C a v odpoledních hodinách až kolem 40 °C. Jinak se teplota v odpoledních hodinách přehoupla přes 25 °C. Jak si lze povšimnout, teploty se v daných lokalitách výrazně lišily, třeba dne 4. 7. 2012 kolem 14 hodiny byla naměřená teplota na severní Moravě v rozvodně Albrechtice 21 °C a v západních Čechách v rozvodně Hradec – západ 30 °C, z toho vyplývá, že teploty se výrazně měnily s polohou.

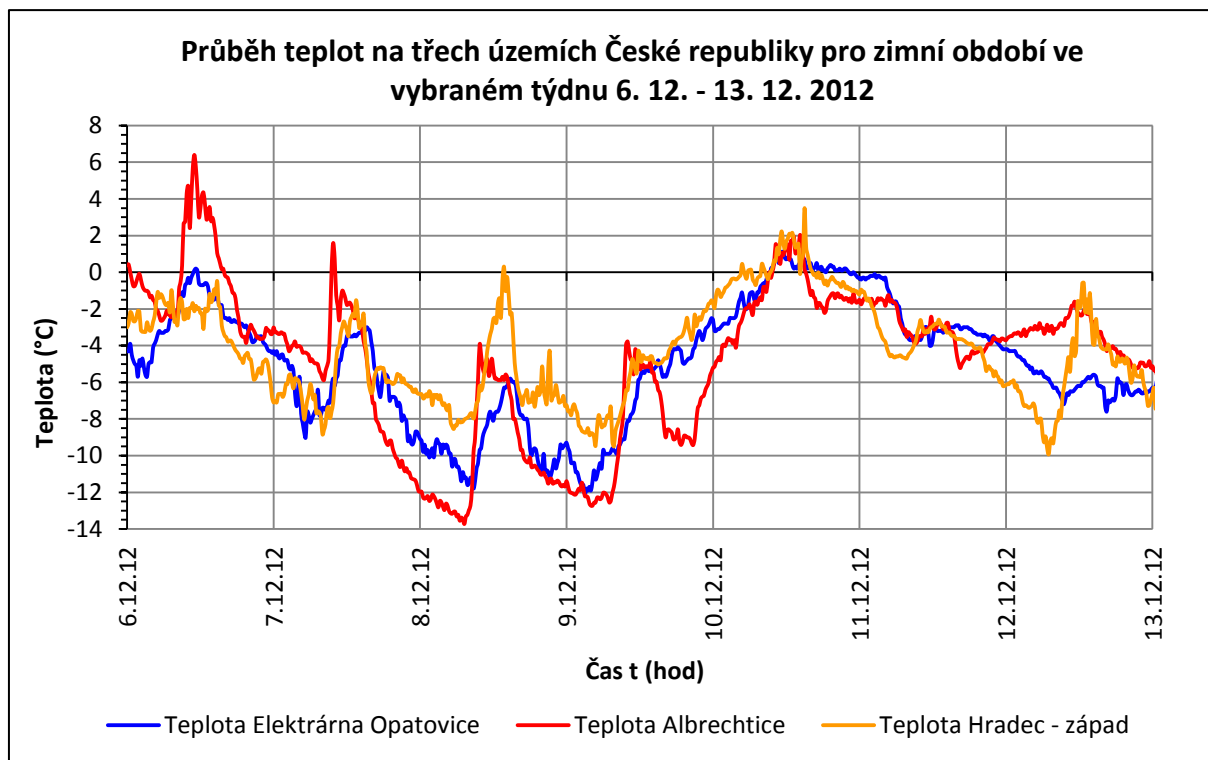
Podzimní období – týdenní data



Graf 4.2 – Průběh teploty na územích České republiky pro letní období dne 9. 9. - 16. 9. 2012

Teploty v podzimním období se pohybovaly ráno v rozmezí od 4 °C a v odpoledních hodinách až kolem 40 °C což bývaly špičkové výkyvy teplot v odpoledních hodinách, toto bylo způsobeno dopadem slunečních paprsků na měřící čidla. Jinak se teploty v odpoledních hodinách přehouply přes 24 °C, postupem času teplota začala klesat a to do rozmezí 4 °C až do 16 °C. Jak si lze povšimnout, teploty se opět na různých místech České republiky pohybovaly v různých teplotních rozdílech.

Zimní období – týdenní data



Graf 4.3 – Průběh teploty na územích České republiky pro zimní období dne 6. 12. - 13. 12. 2012

V zimním období se teploty ráno pohybovaly v rozmezí od $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v odpoledních hodinách, kdy vysvítalo slunce kolem $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nejvyšší dosažená teplota byla v tomto období dne 6. 12. 2012 v 11 hodin na severní Moravě v rozvodně Albrechtice, kde teplota přesáhla hodnotu $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, byla to ovšem jen špičková hodnota, poté teplota opět klesala k minusovým hodnotám. Tento výkyv teploty byl nejspíše způsoben slunečními paprsky, které dopadaly na měřicí čidlo. Jinak se teploty v odpoledních hodinách nepřehouply přes $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ s postupem času začala teplota růst přes $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jak si lze povšimnout, teploty se opět na různých místech České republiky pohybovaly v různých teplotních rozdílech.

4.2 Odvození výpočtu Jouleových ztrát pomocí náhradního článku „II“

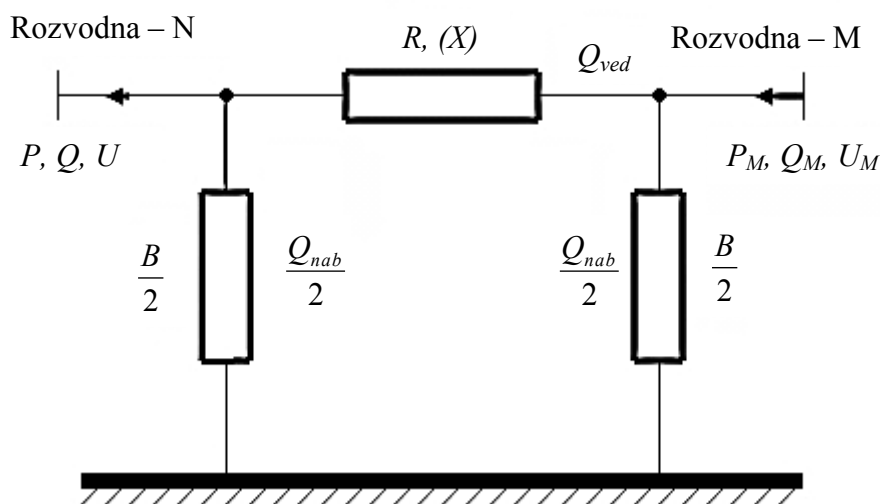
Protože přesné řešení poměrů u dlouhých vedení 400 kV a 220 kV vyžaduje rozdělení vedení na velký počet jednotlivých prvků, které jsou na vedení rozděleny, je potřeba řešit průběh elektrických veličin podél vedení a jejich změn. Existuje přesná exaktní metoda, která je zdlouhavá na svůj výpočet. Pro toto řešení se musí použít velmi složitých matematických vzorců. Proto se v elektrotechnické praxi využívá k výpočtům dlouhých vedení ZVN a VVN tzv. náhradní články vedení „I“, „T“, „II“ a Steimetzův článek.

Tyto články dávají další možnost výpočtu oproti exaktní metodě.

Z důvodů dostatečného množství naměřených dat (P , Q , U) z řídicího systému moravského energetického dispečinku ČEPS, a.s. v Ostravě, bylo možné na základě odvozené metodiky pomocí „II“ článku Jouleovy ztráty na vedení dopočítat.

Pro odvození vzorce je použit, náhradní článek „II“, který nejvíce vyhovuje svými naměřenými vstupními a katalogovými hodnotami. Při výpočtu je zanedbán svod G , který ze stálých technických ztrát je řešen zvlášť. Výsledkem bude vzorec, do kterého se vloží data, které byla naměřena na dispečinku ČEPS, a.s.

Parametry vedení jako je činný odpor R , reaktance X a susceptance B jsou katalogové hodnoty pro dané vedení a velikosti činného výkonu P , jalový výkon Q , sdružené napětí U jsou naměřeny a získány z energetického dispečinku. Pro výpočty jsou použity 15 minutové vzorky, ze kterých je možno sestavit graf s určitými průběhy u vybraného druhu vedení.



Obr. 4.2 – Ukázka rozložení parametrů pomocí náhradního článku „II“

4.2.1 Postup odvození vzorce Jouleových ztrát se zanedbáním svodu [6]

Zdánlivý výkon

$$\bar{S} = P + jQ_{ved} = P + j\left(Q - \frac{Q_{nab}}{2}\right) \quad (\text{VA}) \quad (4.1)$$

S zdánlivý výkon (VA)

P činný výkon (W)

Q jalový výkon (var)

Q_{nab} nabíjecí výkon (var)

Nabíjecí výkon

$$Q_{nab} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{nab} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{U}{\sqrt{3} \cdot X_b} = \sqrt{3} \cdot U \cdot \frac{U \cdot B}{\sqrt{3}} = U^2 \cdot B \quad (\text{var}) \quad (4.2)$$

U sdružené napětí (V)

I_{nab} nabíjecí proud (A)

X_b reaktance vedení (Ω)

B susceptance (S)

Jouleovy ztráty:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R \cdot \left(\left| \frac{\bar{S}}{\sqrt{3} \cdot U} \right| \right)^2 = 3 \cdot R \cdot \left[\frac{\sqrt{P^2 + \left(Q - \frac{Q_{nab}}{2} \right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \right]^2 = 3 \cdot R \cdot \left[\frac{\sqrt{P^2 + \left(Q - \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6} \right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \right]^2 = \\ &= 3 \cdot R \cdot \frac{P^2 + \left(Q + \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6} \right)^2}{3 \cdot U^2} = R \cdot \frac{P^2 + \left(Q + \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6} \right)^2}{U^2} \quad (\text{MW}) \quad (4.3) \end{aligned}$$

ΔP	Jouleové ztráty	(MW)
S	zdánlivý výkon	(VA)
P	činný výkon	(W)
Q	jalový výkon	(var)
Q_{nab}	nabíjecí výkon	(var)
B	susceptance	(S)
U	sdružené napětí	(V)

Vzorec se může ještě rozepsat při uvažování, že svodová vodivost $G = 0$

Ztráty způsobené tokem činného výkonu:

$$\Delta P_{\epsilon} = \frac{R \cdot P^2}{U^2} \quad (\text{MW}) \quad (4.4)$$

Ztráty způsobené tokem jalového výkonu:

$$\Delta P_j = \frac{R \cdot \left(Q - \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6} \right)^2}{U^2} \quad (\text{MW}) \quad (4.5)$$

Koeficient 10^{-6} je zvolen ve vzorci proto, aby byly hodnoty používány v (MW), (Mvar), (μ S), (kV). Hodnoty P , Q , U dosazujeme z příslušného uzlu přenosové soustavy, kde u daného vedení počítáme ztráty. Velikosti hodnot P , Q , U se dají snadno vyčíst z časových vzorků z řídicího střediska energetického dispečinku, který uchovává data v paměti po 15 minutových vzorcích.

V přenosové soustavě, když chceme počítat ztráty, musíme zohledňovat znaménka u činného a jalového výkonu. Pokud je $P > 0$, činný výkon do uzlu vtéká, pokud $P < 0$, činný výkon z uzlu vytéká. To samé platí i o výkonu jalovém, ale s tím rozdílem, že nám znaménko určuje, zda se jedná o výkon induktivní či kapacitní.

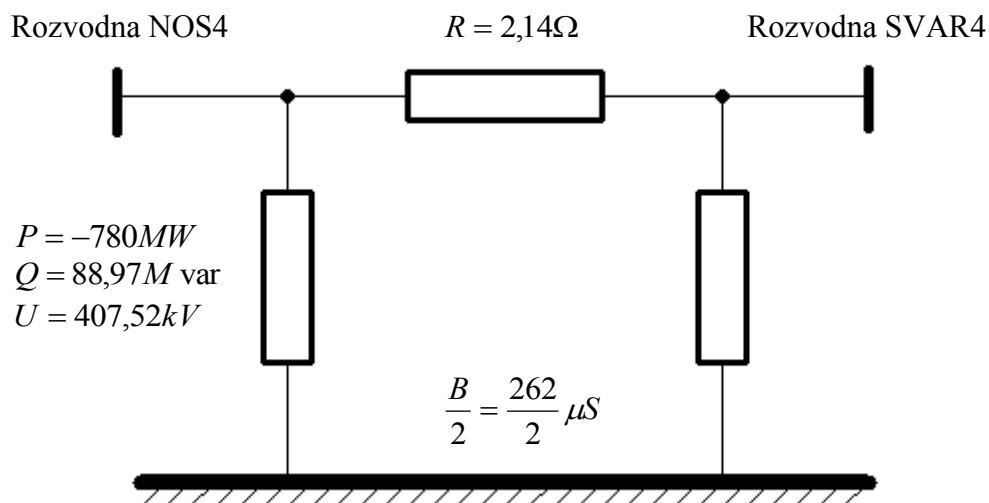
4.2.2 Praktický výpočet Jouleových ztrát na vybraném hraničním vedení 400 kV a 220 kV přenosové soustavy ČR

Hraniční vedení napěťové hladiny 400 kV

Pro příklad praktického výpočtu Jouleových ztrát na hraničním vedení napěťové hladiny 400 kV přenosové soustavy v České republice jsem si zvolil vedení V404, které vede z české rozvodny v Nošovicích do slovenské rozvodny ve Varíně. Pro ukázkou budou zvoleny data s týdenními vzorky v letním období v měsíci červenci ve vybraném týdnu 3. 7. – 10. 7. 2013.

Tab. 4.1 – Parametry hraničního vedení V404 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

Hraniční vedení V404 z Nošovic do Varína					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V404	75,10	2,14	23,85	262	302



Obr. 4.3 – Výpočet Jouleových ztrát na skutečném vedení V404 pomocí náhradního článku „Π“

Při výpočtu Jouleových ztrát jsou použity data pouze z rozvodny v České republice, neboť tyto data se uchovávají v paměti energetického dispečinku pro rozvodnu v České republice.

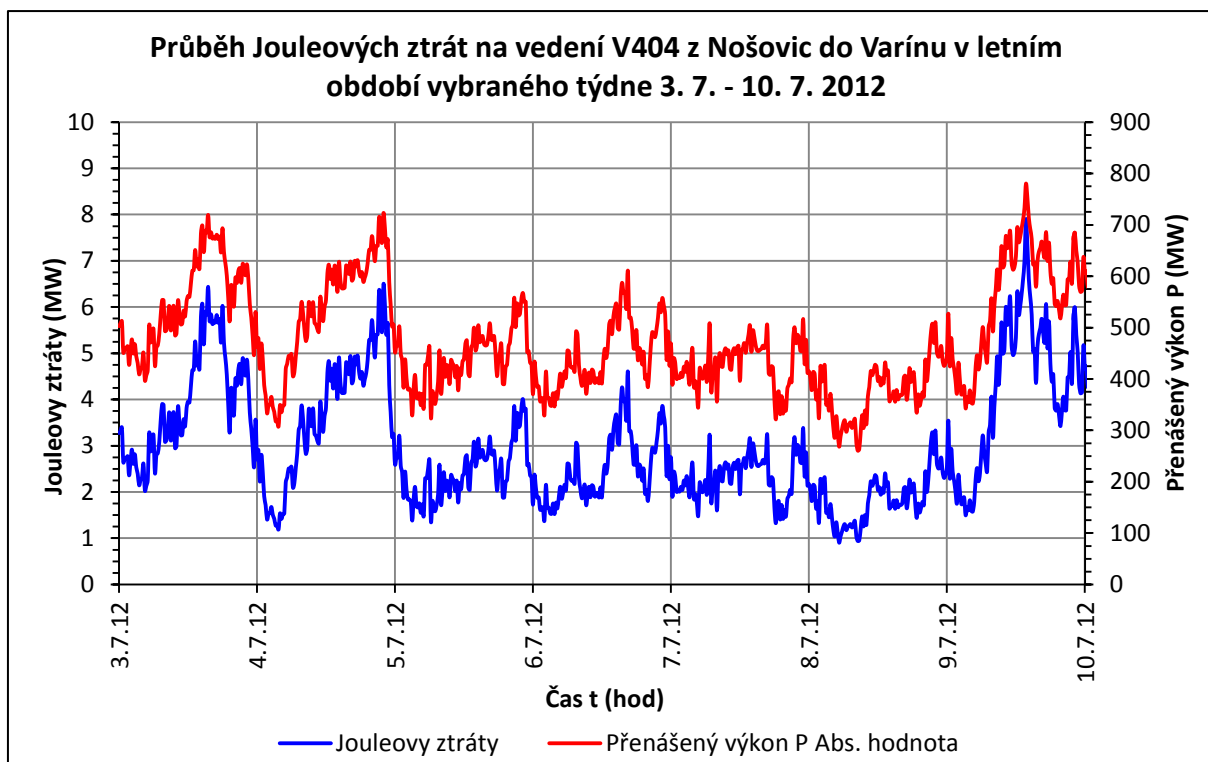
$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot \left[\frac{\sqrt{P^2 + \left(Q - \frac{U^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6} \right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \right]^2 \quad (\text{MW}) \quad (4.6)$$

Výpočet Jouleových ztrát na hraničním vedení V404 vztažený pro českou rozvodnu 400 kV Nošovice (NOS4)

$$\Delta P = 3 \cdot 2,14 \cdot \left[\frac{\sqrt{-780,06^2 + \left(88,97 - \frac{407,52^2 \cdot 262}{2} \cdot 10^{-6} \right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 407,52} \right]^2 = \underline{\underline{7,9 \text{ MW}}} \quad (4.7)$$

Tab. 4.2 - Ukázka naměřených dat z energetického dispečinku ČEPS, a.s.[9]

Datum a čas	Napětí U	Skutečný přenášený výkon P	Přenášený výkon P Abs. hodnota	Jalový výkon Q	Činný odpor R	Susceptance B	Jouleovy ztráty ΔP
(hod)	(kV)	(MW)	(MW)	(Mvar)	(Ω)	(μS)	(MW)
9.7.12 11:15	407,28	-626,65	626,65	112,41	2,14	262	5,17
9.7.12 11:30	406,80	-612,72	612,72	112,60	2,14	262	4,96
9.7.12 11:45	407,28	-618,07	618,07	111,11	2,14	262	5,03
9.7.12 12:00	407,76	-638,78	638,78	104,25	2,14	262	5,34
9.7.12 12:15	407,04	-695,19	695,19	106,70	2,14	262	6,34
9.7.12 12:30	407,04	-666,49	666,49	107,99	2,14	262	5,83
9.7.12 12:45	406,80	-676,47	676,47	108,63	2,14	262	6,02
9.7.12 13:00	407,28	-693,62	693,62	99,26	2,14	262	6,28
9.7.12 13:15	406,80	-710,19	710,19	100,41	2,14	262	6,60
9.7.12 13:30	407,04	-733,22	733,22	93,41	2,14	262	7,01
9.7.12 13:45	407,52	-780,06	780,06	88,97	2,14	262	7,90
9.7.12 14:00	407,76	-751,94	751,94	89,70	2,14	262	7,34
9.7.12 14:15	408,24	-713,67	713,67	91,99	2,14	262	6,60



Graf 4.4 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V404 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Jak ukazuje průběh závislosti Jouleových ztrát a přenášeného výkonu, lze říci, že Jouleovy ztráty na vedení V404 z Nošovic do Varína ve vybraném letním období 3. 7. – 10. 7. 2012 dosahovaly značných hodnot. Maximální dosažená hodnota Jouleových ztrát, je zvýrazněna v *tabulce 4.2*, kde dosáhla 7,9 MW při přenášeném výkonu 780,06 MW. Ovšem reálný přenášený výkon v tomto zachyceném čase se pohyboval v záporných hodnotách, což znamená, že přenášený výkon tek l z České republiky na Slovensko.

4.3 Jouleové ztráty na hraničních vedeních přenosové soustavy z České republiky do zahraničí

Další ukázky průběhů Jouleových ztrát na hraničních vedeních byly tvořeny z užšího výběru sedmnácti hraničních vedení z ČR do sousedních států. Jouleovy ztráty vznikají u každého provozovaného vedení, nemůžeme je zcela odstranit, ale pouze částečně omezit. Omezit ztráty můžeme procházejícím proudem vedením, parametry vedení a vhodným uspořádáním vodičů na stožárech. Pro tuto kapitolu jsem vybral osm vedení přenosové soustavy, z tohoto výběru je pět vedení o napěťové hladině 400 kV pro jednotlivé sousední státy s Německem, Rakouskem, Slovenskem a Polskem a dále tři vedení o napěťové hladině 220 kV pro sousední státy do Rakouska, Slovenska a Polska. Dále v této kapitole budou zobrazeny grafické průběhy s týdenními vzorky pro letní, podzimní a zimní období, aby bylo zřejmé, jak se mění průběh Jouleových ztrát v závislosti na teplotě a přenášeném výkonu pro dané roční období. Pro letní období budou data z týdne 3. 7. – 10. 7. 2012, pro podzimní období budou data z týdne 9. 9. – 16. 9. 2012 a pro zimní období z týdne 6. 12. – 13. 12. 2012. Do grafu spolu s průběhem Jouleových ztrát byl vložen i průběh přenášeného výkonu v absolutní hodnotě, aby se dalo srovnat, jak se měnily ztráty s výkonem, a kolik činily ztráty z tohoto přenášeného výkonu. Ostatní průběhy Jouleových ztrát budou vloženy v příloze I.

ZTRATY			
Celkové ztráty			
EST Transf.	9.19	OPF Transf.	9.08
EST Ved.	189.12	OPF Ved.	181.27
EST CEPS	198.31	OPF CEPS	190.35
:PZ :EZ :EZ24			
EST VS Ved.	110.70	126	1631.6
EST HR Ved.	78.42	49.950	538.7
EST Transf.	9.098	201.3	
OPF VS Ved.	107.05	106	1318.9
OPF HR Ved.	74.22	70.231	757.8
OPF Transf.		8.986	898.8
Hraniční vedení 400 kV			
EST ztr.	OPF ztr.	EST ztr.	OPF ztr.
V404 6.543	5.940	V443 10.883	10.393
V424 1.995	1.871	V444 7.837	7.142
V437 10.415	10.083	V445 1.926	1.678
V438 10.457	10.125	V446 1.928	1.680
V441 2.334	2.530	V497 3.730	3.479
V442 6.827	6.926		
Hraniční vedení 220 kV			
EST ztr.	OPF ztr.	EST ztr.	OPF ztr.
V243 2.944	2.718	V246 3.881	3.530
V244 2.877	2.653	V270 2.244	2.030
V245 1.002	0.862	V280 0.594	0.583
Vedení 400 kV			
CEPS Celkem EST Ved. 155 OPF Ved. 148.85			
V400 0.738	0.696	V423 0.041	0.046
V401 6.329	6.333	V430 4.854	4.737
V402 0.331	0.331	V431 1.576	1.505
V403 0.143	0.088	V432 0.256	0.352
V405 0.353	0.000	V433 29.630	28.627
V410 4.543	4.446	V434 0.870	0.872
V411 0.307	0.266	V435 1.200	1.219
V412 8.344	7.763	V436 0.976	0.995
V413 13.329	13.221	V450 1.141	1.129
V414 0.006	0.005	V451 0.793	0.770
V415 0.000	0.000	V452 0.000	0.000
V417 0.534	0.396	V453 0.474	0.478
V418 1.745	1.611	V454 0.259	0.249
V420 1.660	1.650	V457 0.003	0.002
V422 0.000	0.000	V459 0.063	0.062
Vedení 220 kV			
CEPS Celkem EST Ved. 34.466			
V201 3.385	3.316	V209 0.213	0.202
V202 3.085	2.923	V210 1.486	1.481
V203 2.701	2.645	V211 0.067	0.063
V204 0.950	0.914	V216 0.000	0.000
V205 0.532	0.547	V221 0.222	0.216
V206 0.000	0.000	V222 0.215	0.209
V207 1.050	1.041	V223 0.555	0.573
V208 1.283	1.200	V224 0.577	0.596
V225 0.550	0.535	V226:HRA 0.305	0.299
V226:VTZ 0.001	0.001	V226:VYS 0.273	0.263
V226 0.579	0.000	V251 0.976	0.827
V252 1.058	0.903	V253 0.418	0.336
V001 0.045	0.053		
V002 0.000	0.000		
V011 0.119	0.119		
V017 0.454	0.465		
V018 0.000	0.000		

Obr. 4.4 – Ukázka měření ztrát přenosové soustavy na energetickém dispečinku ČEPS, a.s. [9]

4.3.1 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k německému profilu

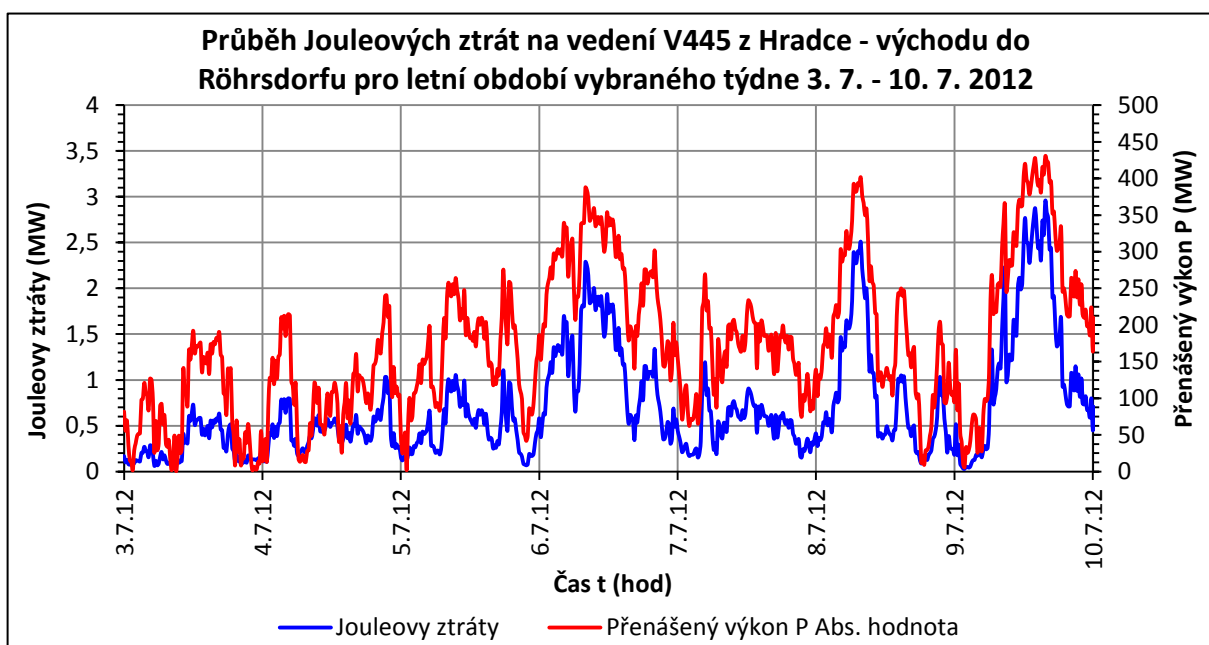
V tomto bodě jsem vybíral ze čtyř hraničních vedení vedoucí do Německa z napěťové hladiny 400 kV, zde jsem vybral dvě vedení, na kterých se porovnají a graficky zobrazí Jouleovy ztráty, jak se mění s přenášeným výkonem a s teplotou v ročním období. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu pro letní období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat s jednotlivými průběhy. Pro hladinu napětí 400 kV jsem vybral vedení V445 z české rozvodny Hradec - východ do německé rozvodny Röhrsdorf a dále vedení V442 z české rozvodny Přestice do německé rozvodny Etzenricht. Vybral jsem zde dvě vedení hladiny napětí 400 kV z důvodu, že do tohoto profilu nevedou vedení o hladině napětí 220 kV

Hraniční vedení V445 – napěťová hladina 400 kV

Tab. 4.3 – Parametry hraničního vedení V445 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

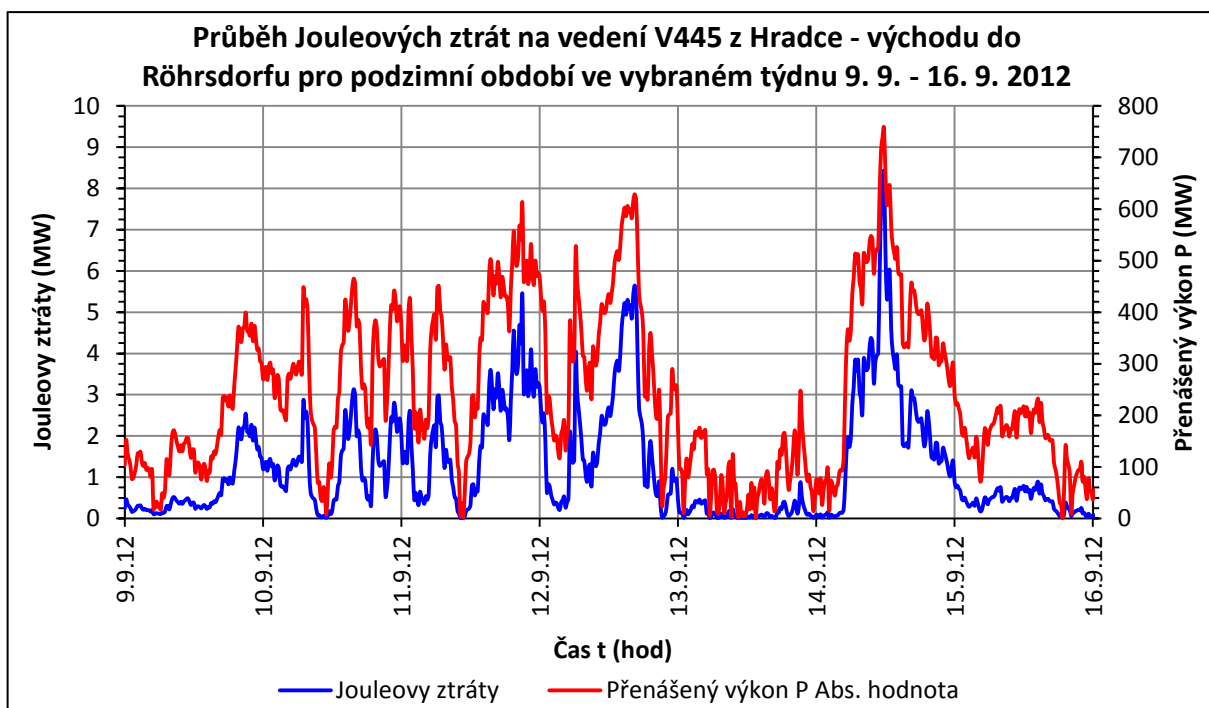
Hraniční vedení V445 z Hradce – východu do Röhrsdorfu					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V445	81,54	2,46	21,89	349	250

Letní období – týdenní data



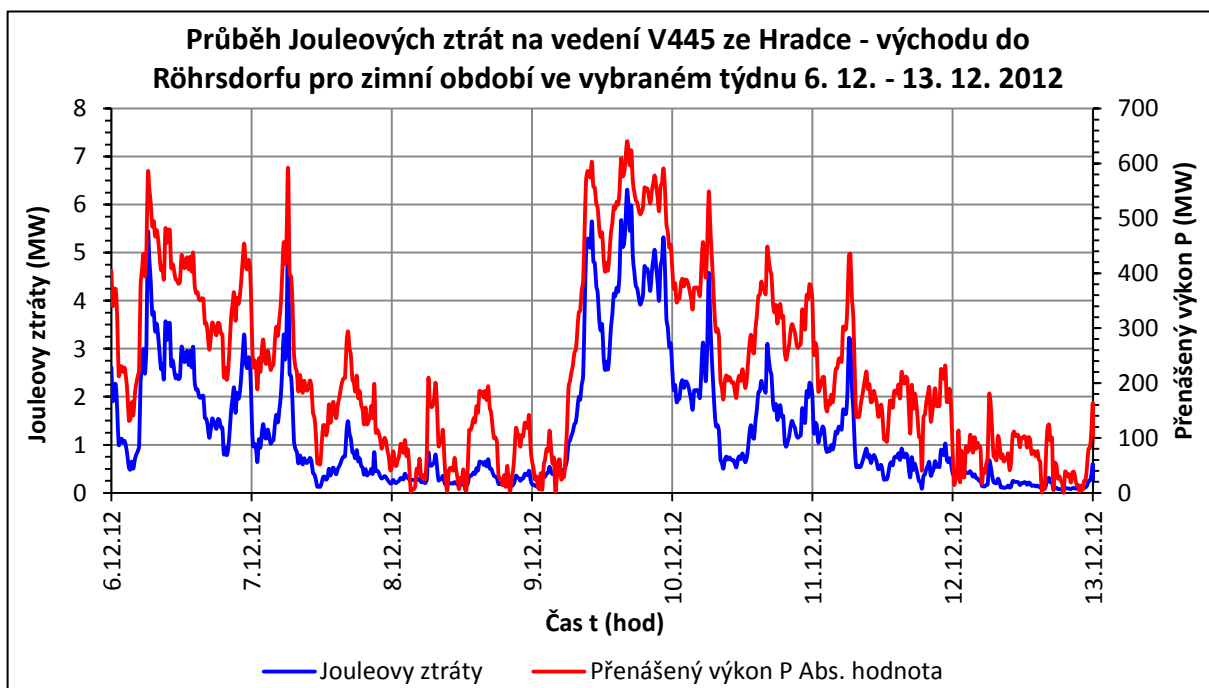
Graf 4.5 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V445 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.6 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V445 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.7 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V445 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

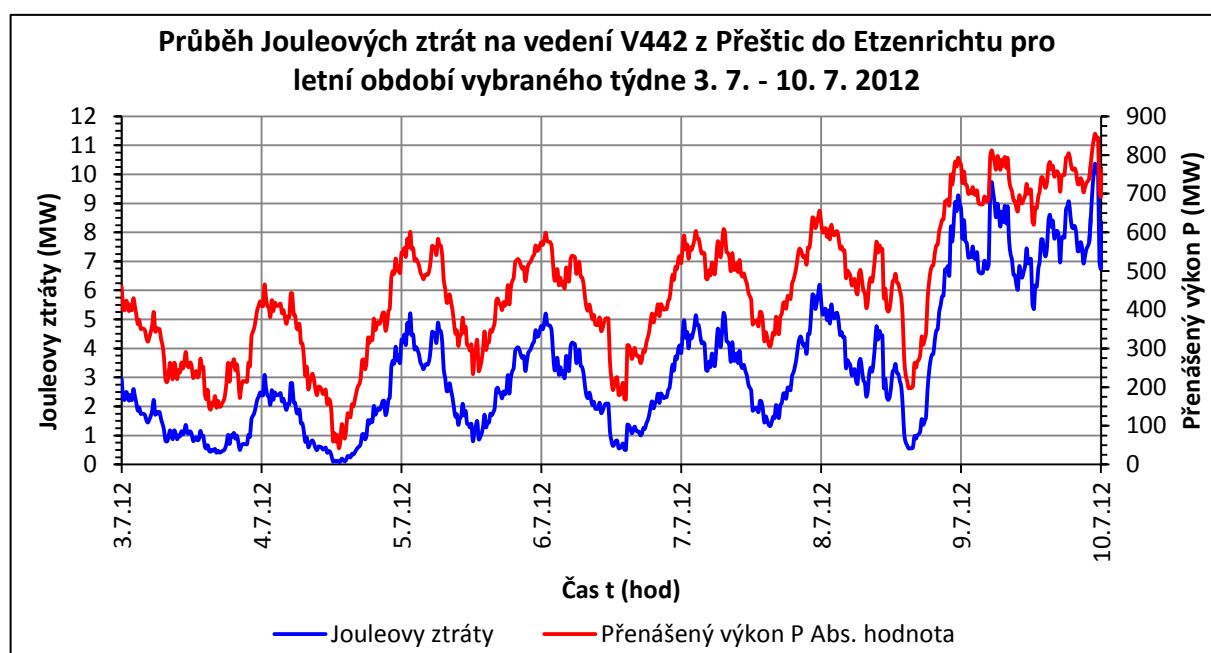
Při vyhodnocení grafů ve třech obdobích pro vybrané týdny, lze sledovat, že Jouleovy ztráty na vedení V445 z Hradce – východu do Röhrsdorfu, byly největší v podzimním období, kdy se pohybovaly v od 0,28 MW do 8,4 MW, při přenášeném výkonu v od 30 MW až do 757 MW. Jak je známo, při rostoucí teplotě rostou i ztráty. Tyto ztráty jsou způsobeny jednak velikostí přenášeného výkonu, tak i teplotou okolí, která dosahovala v podzimním období až 30°C. Nejmenší ztráty byly v létě, kde se pohybovaly do 2,95 MW při přenášeném výkonu do 430 MW. Zde si lze povšimnout, že ztráty jsou menší, protože se přenášel o 1,76krát menší výkon než v podzimním období. V zimním období ztráty nabývaly značných hodnot, kde se pohybovaly do 6,6 MW při přenášeném výkonu 640 MW. Také při vypracování dat lze sledovat, že přenášený výkon se nepřenášel rovnoměrně, ale měnil své hodnoty vlivem různých odběrů v daném zahraničním profilu.

Hraniční vedení V442 – napěťová hladina 400 kV

Tab. 4.4 – Parametry hraničního vedení V442 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

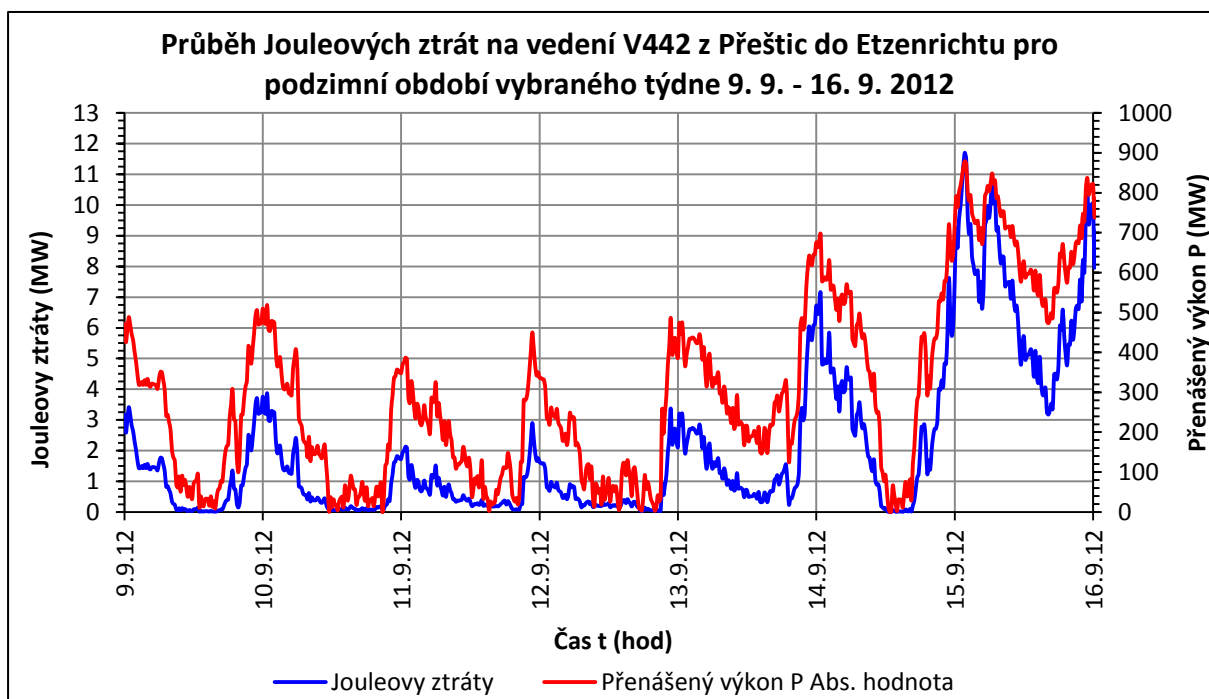
Hraniční vedení V442 z Přestice do Etzenrichtu					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V442	109,51	2,41	29,11	445	256

Letní období – týdenní data



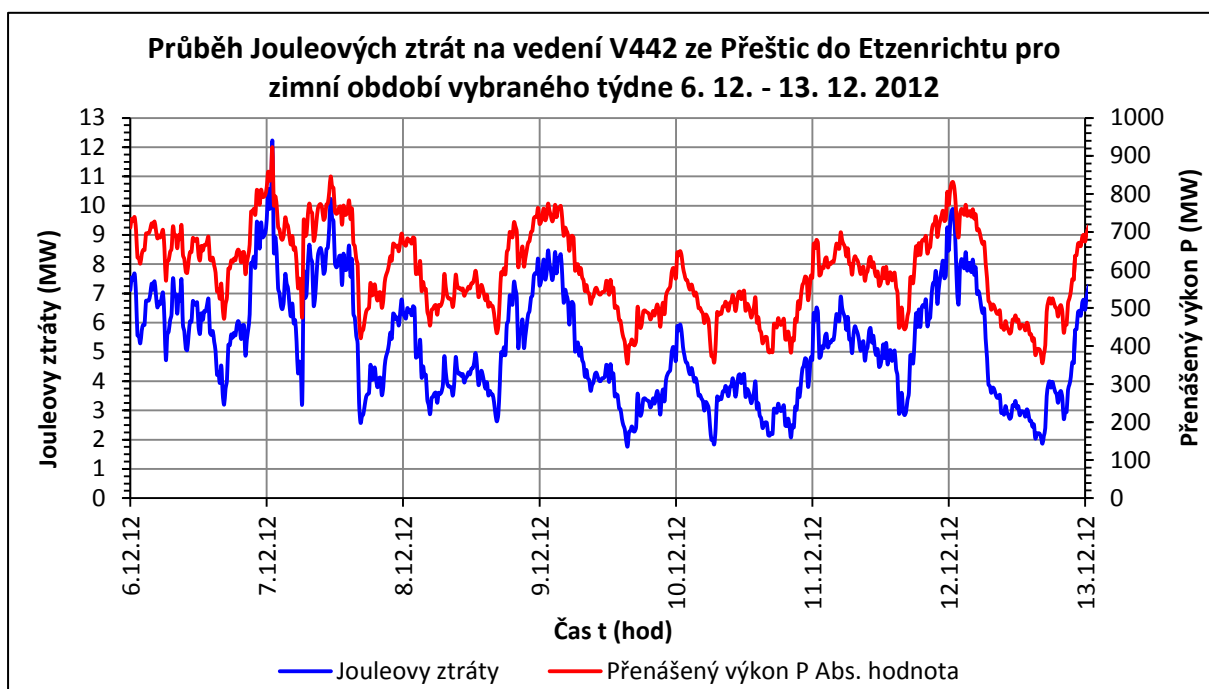
Graf 4.8 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.9 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.10 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vyhodnocení grafů pro druhé vedení v německém profilu pro tři roční období ve vybraných týdnech, lze říci, že Jouleovy ztráty na vedení V442 z Přestice do Etzenrichtu, byly přibližně stejné i přenášený výkon se výrazně nelišil. Nejmenší ztráty byly v letním období, kde dosáhla maximální hodnoty 10,5 MW při přenášeném výkonu 838 MW. Přenášený výkon se měnil v tomto týdnu a postupně se zvyšoval. V podzimním období dosáhly ztráty velice značných hodnot do 12 MW při přenášeném výkonu 838 MW, tento výkon nabýval špičkových hodnot, které se v daném týdnu měnily. Největší ztráty byly pro dané období zaznamenány v zimním období, kde překročily hranici 12 MW při maximálním přenášeném výkonu 921 MW. Tak vysoký přenášený výkon na vedení se mohl přenášet i z důvodů, že bylo vedení ochlazováno venkovní teplotou, která klesala i do teplot -14°C . Toto vedení s ohledem na přenášený výkon ve třech ročních obdobích bylo ekonomicky využito.

4.3.2 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k rakouskému profilu

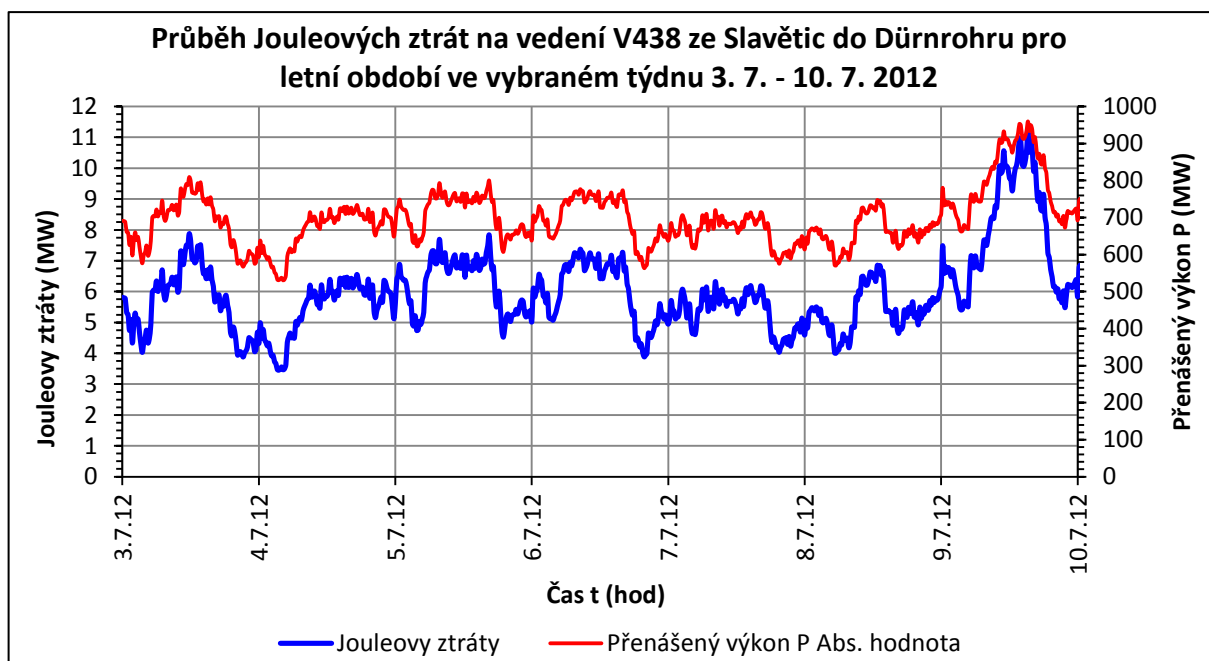
V tomto bodě podkapitoly jsem si vybral ze dvou paralelních vedení z napěťové hladiny 400 kV a ze dvou paralelních vedení z napěťové hladiny 220 kV. Z tohoto výběru jsem vybral pouze jedno vedení z každé napěťové hladiny, na kterém se porovnají a graficky zobrazí Jouleovy ztráty, jak se mění s přenášeným výkonem a také s teplotou v ročním období. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu a pro roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat s jednotlivými průběhy. Pro napěťovou hladinu 400 kV jsem vybral vedení V438 z české rozvodny Slavětice do rakouské rozvodny Dürnröhr a pro napěťovou hladinu 220 kV jsem vybral vedení V244 z české rozvodny Sokolnice do rakouské rozvodny Bisamberg.

Hraniční vedení V438 – napěťová hladina 400 kV

Tab. 4.5 – Parametry hraničního vedení V438 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

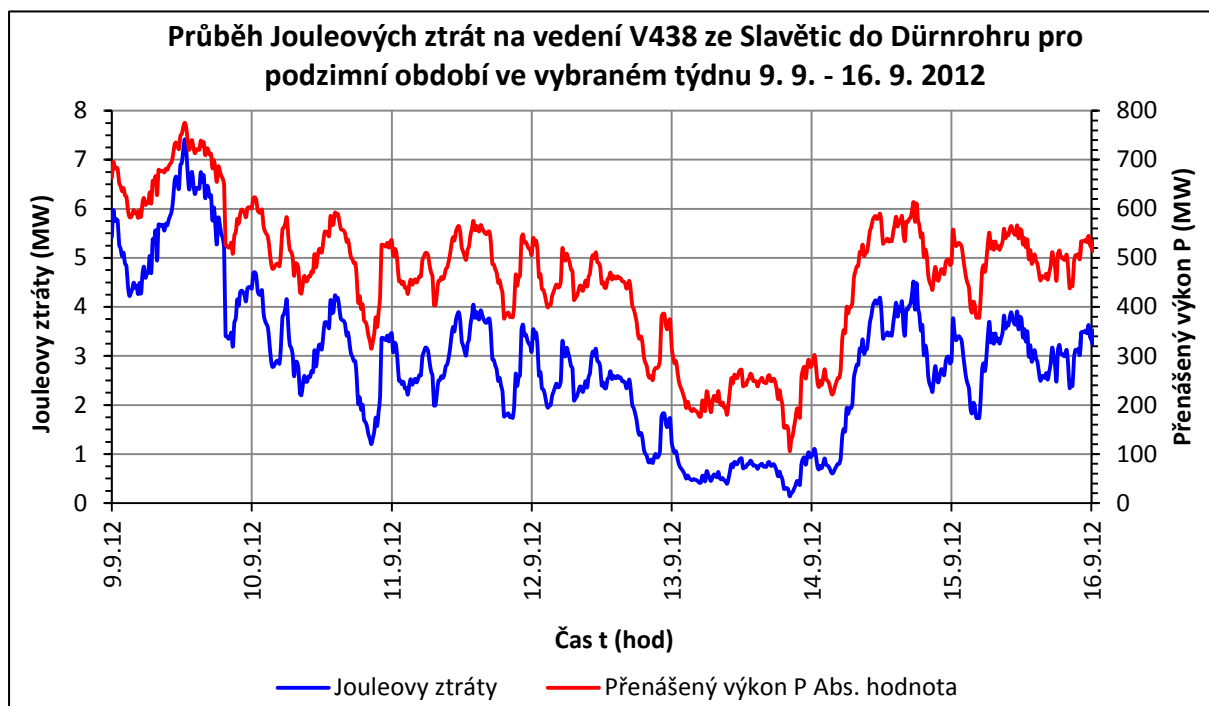
Hraniční vedení V438 z Přestice do Etzenrichtu					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V438	96,07	2,07	28,54	375	276

Letní období – týdenní data



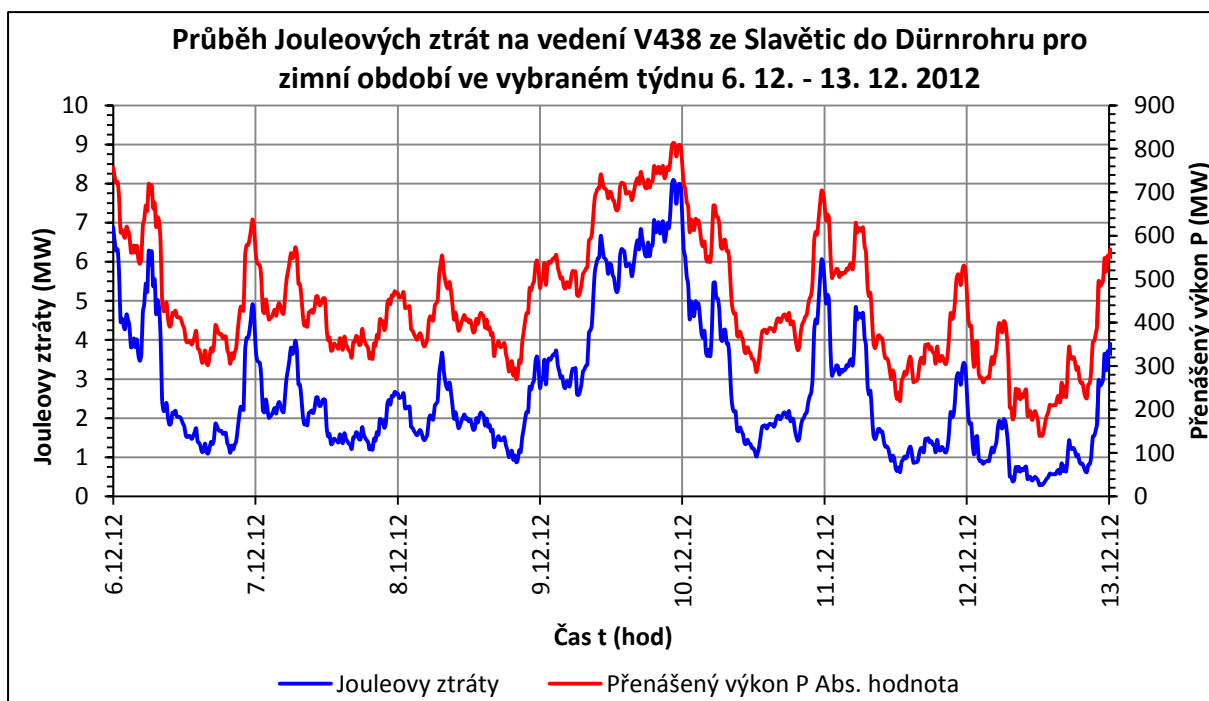
Graf 4.11 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V438 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.12 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V438 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.13 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V438 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

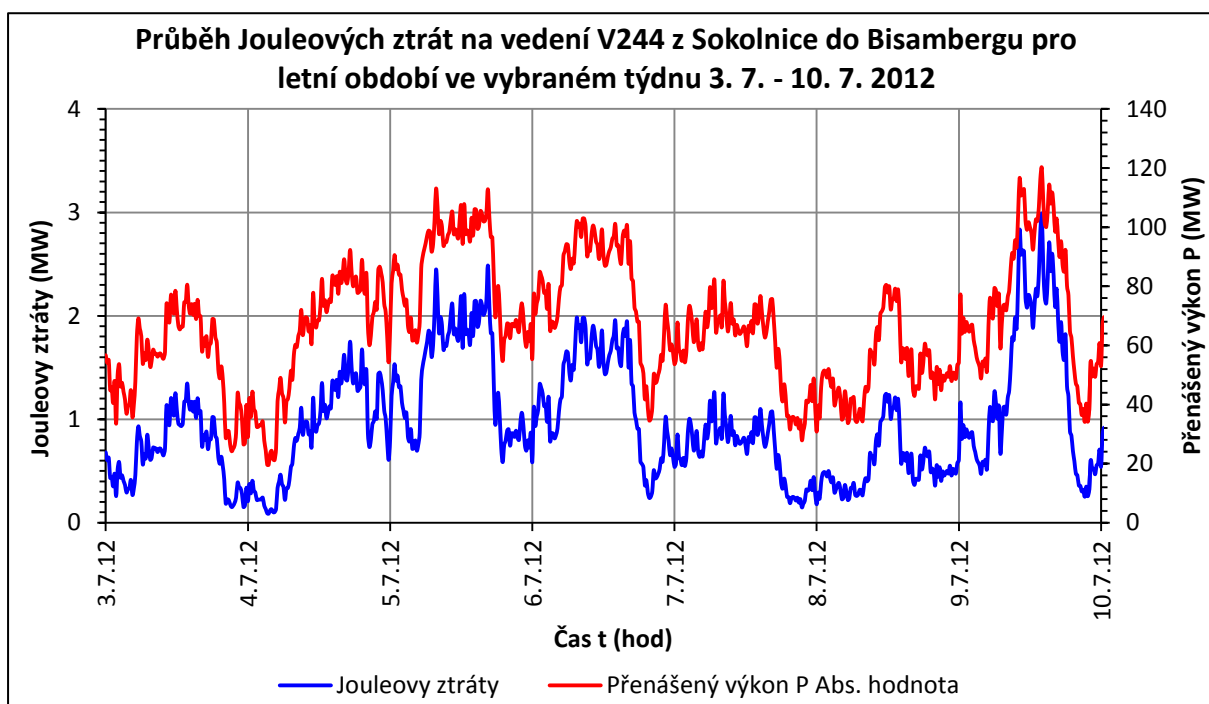
Při vyhodnocení grafů pro napěťovou hladinu 400 kV v rakouském profilu na vybraném vedení V438 pro dané roční období ve vybraných týdnech, lze pozorovat, že Jouleovy ztráty byly největší v letním období, kdy dosáhly hodnot 11 MW, při přenášeném výkonu do hodnoty 952 MW. S rostoucí teplotou rostou i ztráty na vedení. Tyto ztráty jsou způsobeny jednak velikostí svého přenášeného výkonu v daném období, ale i teplotou okolí, která taky ovlivňuje ztráty, tím že zahřívá vodiče, tato teplota se pohybovala v letním období až 40°C. Nejmenší ztráty byly na podzim, kde se pohybovaly až do hodnoty 7,5 MW, při přenášeném výkonu v daném období do hodnot 766 MW. V posledním zimním období nabývaly ztráty také značných hodnot, kde se pohybovaly až do 8 MW, při přenášeném výkonu až do hodnoty 808 MW. V letním období, lze považovat vedení za ekonomicky zatížené ohledně přenášeného výkonu, tento výkon výrazně nekolísá. Kdežto v podzimním a zimním období, klesal a narůstal vlivem nerovnoměrného odběru na vedení pro daný zahraniční profil.

Hraniční vedení V244 – napěťová hladina 220 kV

Tab. 4.6 – Parametry hraničního vedení V244 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

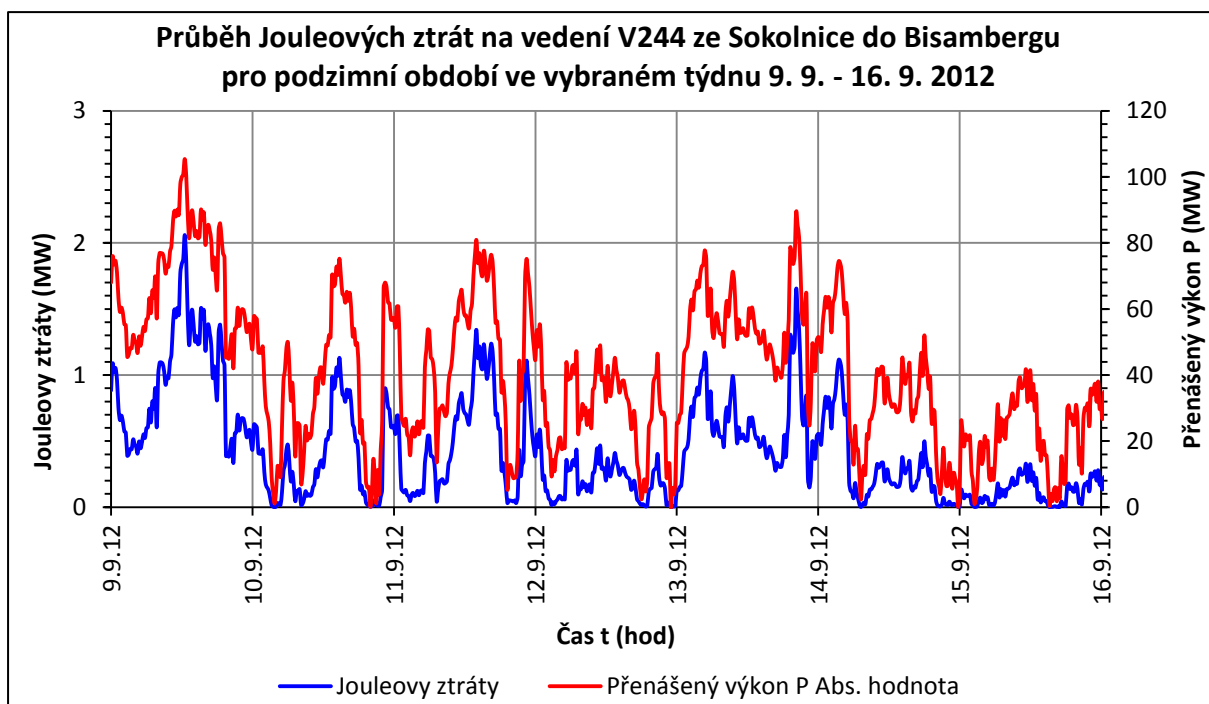
Hraniční vedení V244 ze Sokolnice do Bisambergu					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V244	127,90	10,50	51,20	343	386

Letní období – týdenní data



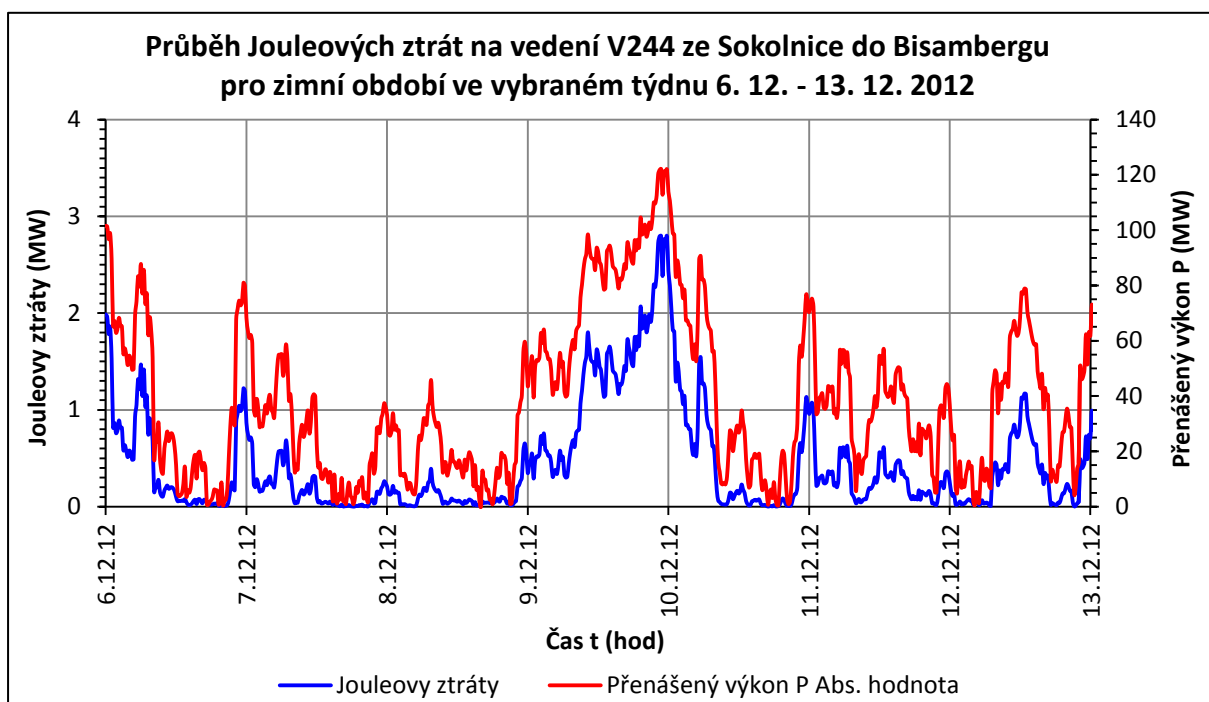
Graf 4.14 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V244 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.15 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V244 z ČR do Rakouska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.16 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V244 z ČR do Rakouska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vyhodnocení grafů pro napěťovou hladinu 220 kV v rakouském a vybraném vedení V244 pro dané roční období ve vybraných týdnech, lze vidět, že Jouleovy ztráty byly největší v zimním období, kdy dosáhly hodnot 3 MW, při přenášeném výkonu do hodnoty 120 MW, ale tato hodnota je pouze špičková, jinak se přenášený výkon pohyboval v rozmezí do 80 MW a ztráty se pohybovaly v rozmezí do 2 MW. Nejmenší ztráty byly v podzimním období, kde se pohybovaly do hodnoty 2 MW, při přenášeném výkonu do 100 MW. V letním období ztráty nepřesáhly hodnotu 3 MW při přenášeném výkonu do 120 MW. Přenášený výkon na vedení V244 ve třech ročních obdobích se nepřenášel rovnoměrně, ale měnil své hodnoty vlivem různých odběrů v časových okamžicích na tomto vedení pro daný zahraniční profil.

4.3.3 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k slovenskému profilu

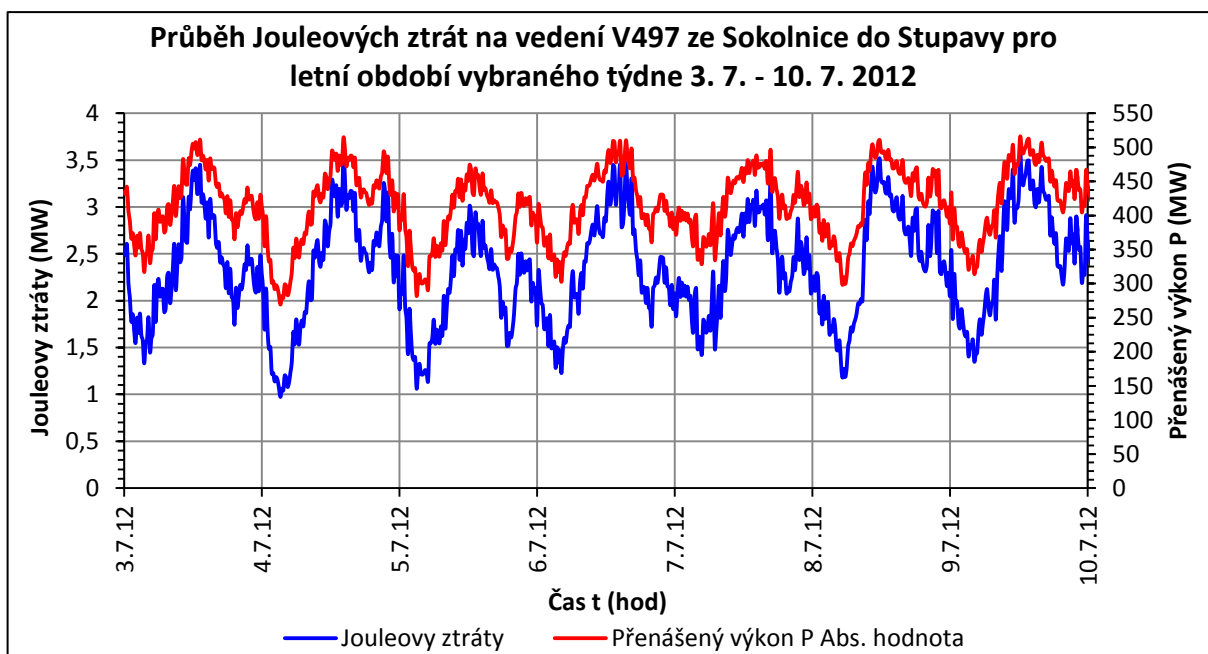
Pro tento bod jsem si vybral ze tří vedení z napěťové hladiny 400 kV a ze dvou vedení z napěťové hladiny 220 kV pouze jedno vedení z každé napěťové hladiny, na kterém se porovnají a graficky zobrazí Jouleovy ztráty, jak se mění s přenášeným výkonem a s teplotou v ročním období. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu a pro letní období vloženy pod sebou aby se mohly porovnat jednotlivé průběhy. Pro napěťovou hladinu 400 kV jsem vybral vedení V497 z české rozvodny Sokolnice do slovenské rozvodny Stupava a pro napěťovou hladinu 220 kV jsem vybral vedení V280 z české rozvodny Sokolnice do slovenské rozvodny Senica.

Hraniční vedení V497 – napěťová hladina 400 kV

Tab. 4.7 – Parametry hraničního vedení V497 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

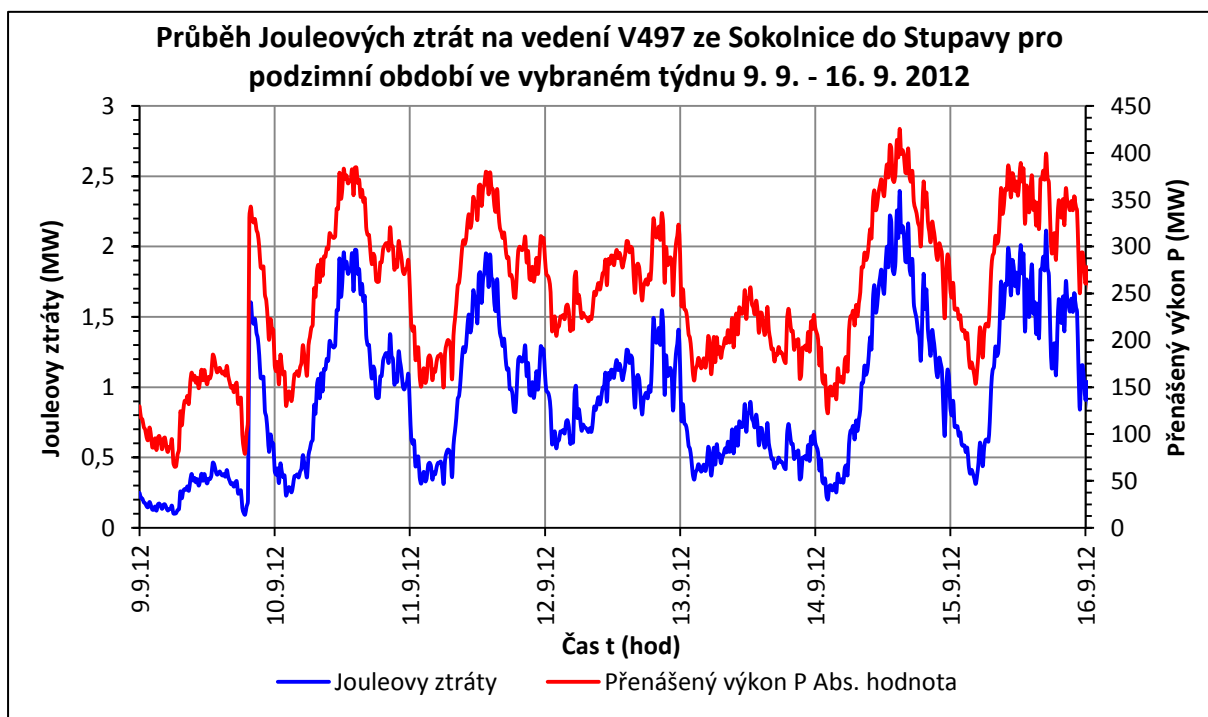
Hraniční vedení V497 z Sokolnice do Stupavy					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V497	110,68	2,30	30,90	429	268

Letní období – týdenní data



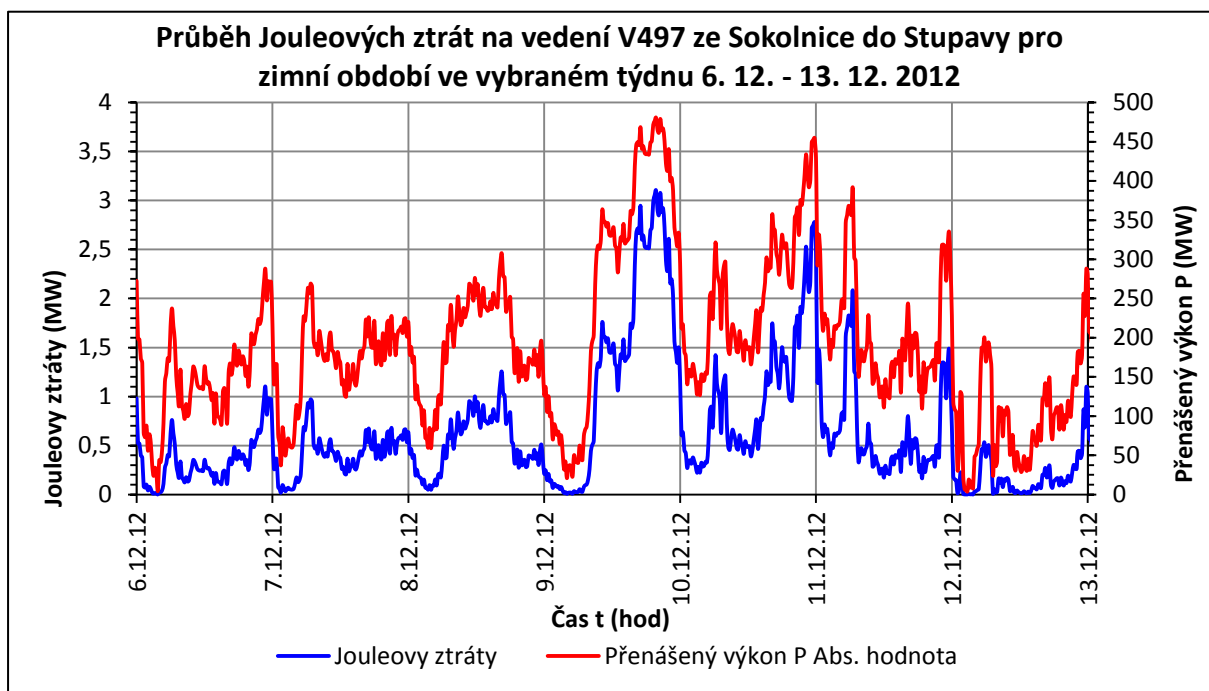
Graf 4.17 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V497 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.18 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V497 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.19 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V497 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

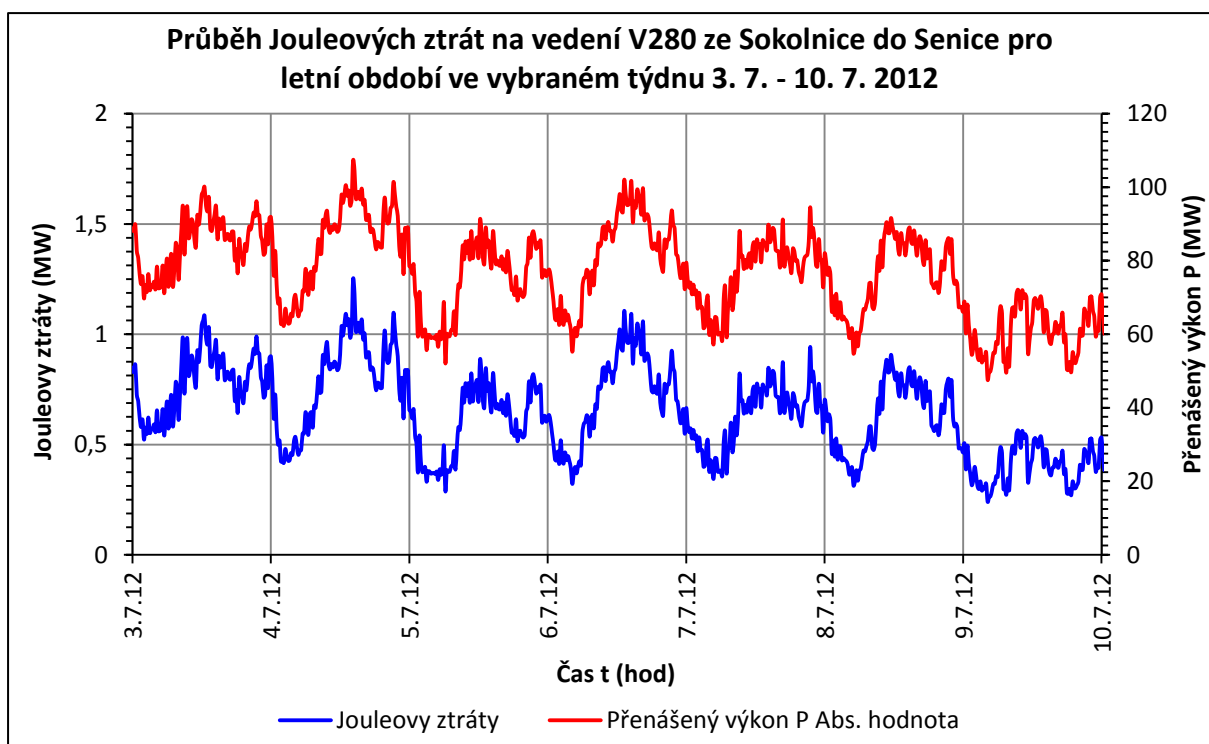
Při vypracování grafů pro dané roční období ve vybraném týdnu, si můžeme všimnout, že největší Jouleovy ztráty na vedení V497 ze Sokolnice do Stupavy, byly v letním období a pohybovaly se v rozmezí od 1 MW do maximální hodnoty 3,5 MW, při přenášeném výkonu v rozmezí od 280 MW až do maximální hodnoty 505 MW. S rostoucí teplotou rostou i Jouleovy ztráty. Tyto ztráty jsou způsobeny jednak velikostí přenášeného výkonu, tak i teplotou okolí, která zahřívá samotné vodiče, tato teplota okolí dosahovala v letním období v odpoledních hodinách až 40°C. Nejmenší ztráty byly v podzimním období, kde se pohybovaly od 0,14 MW až k hodnotě 2,5 MW, při přenášeném výkonu od 80 MW do hodnoty 425 MW. V zimním období nabývaly značných hodnot, kde se pohybovaly v rozmezí 0,07 MW až do 3 MW, při přenášeném výkonu 30 MW až 470 MW. Tato největší hodnota Jouleových ztrát, byla podle vypracovaných dat špičková. Jak si lze dále všimnout, tak přenášený výkon na tomto vedení V497 jako v předchozích případech výrazněji narůstal a klesal z důvodu rozdílných odběrů pro tento zahraniční profil.

Hraniční vedení V280 – napět'ová hladina 220 kV

Tab. 4.8 – Parametry hraničního vedení V280 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

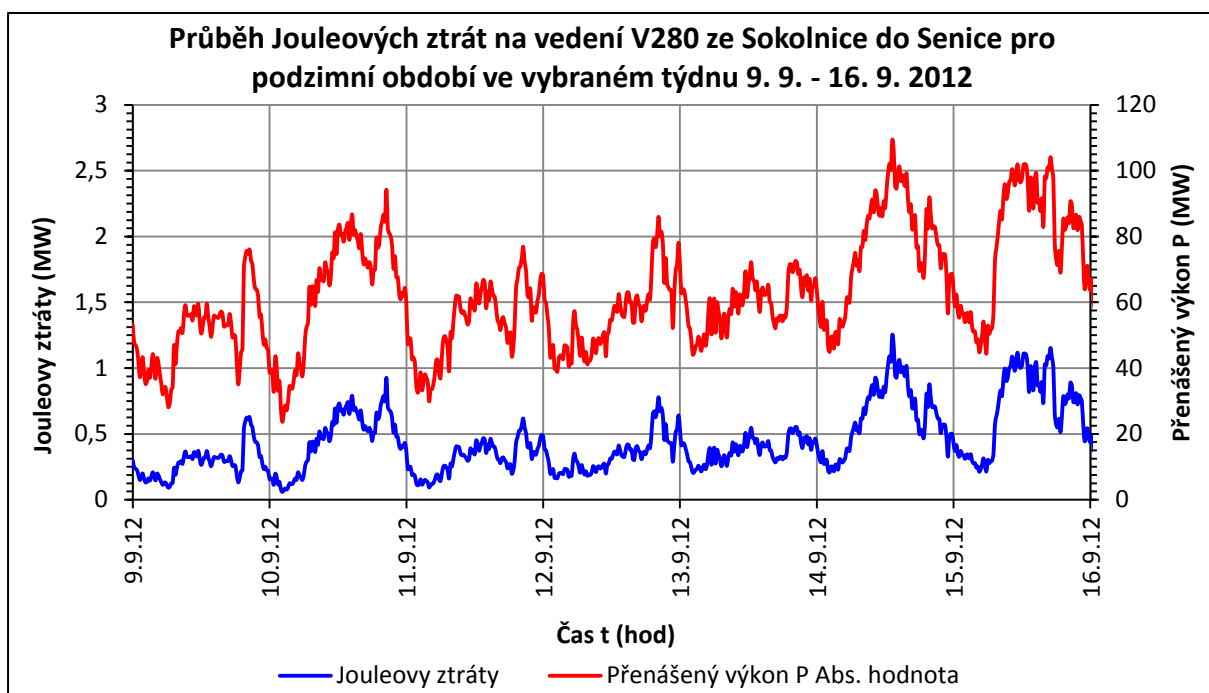
Hraniční vedení V280 ze Sokolnice do Senice					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V280	93,33	5,91	37,09	239	394

Letní období – týdenní data



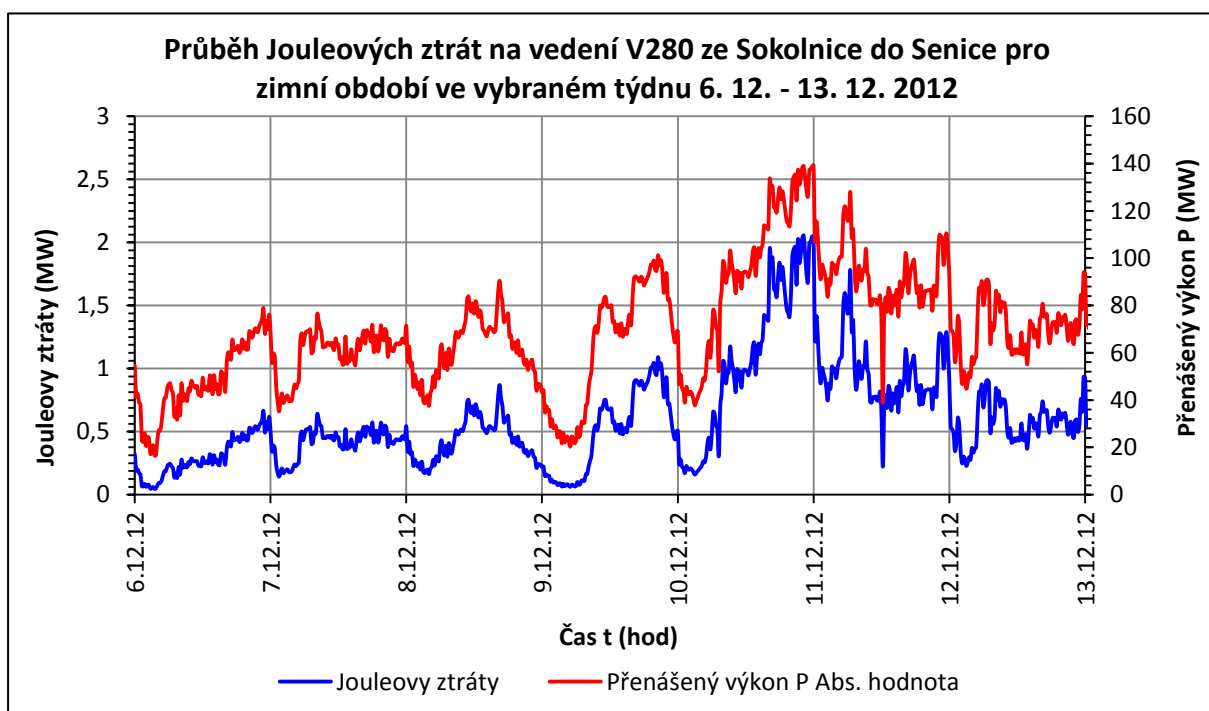
Graf 4.20 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V280 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.21 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V280 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.22 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V280 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vyhodnocení grafů pro napětovou hladinu 220 kV ve slovenském profilu na vybraném vedení V244 pro dané roční období ve vybraných týdnech, lze sledovat, že největší Jouleovy ztráty byly v zimním období, kdy dosáhly hodnot 2 MW, při přenášeném výkonu do hodnoty 135 MW. Nejmenší ztráty byly v podzimním období, kde se pohybovaly do hodnoty 1 MW, při přenášeném výkonu do 110 MW. V letním období ztráty nepřesáhly hodnotu 1,5 MW při přenášeném výkonu do 110 MW. Přenášený výkon na vedení V280 v daných ročních obdobích se nepřenášel pravidelně, ale kolísal z důvodu, že odběry pro daný zahraniční profil měnily své hodnoty.

4.3.4 Jouleovy ztráty na vybraných hraničních vedeních vztažené k polskému profilu

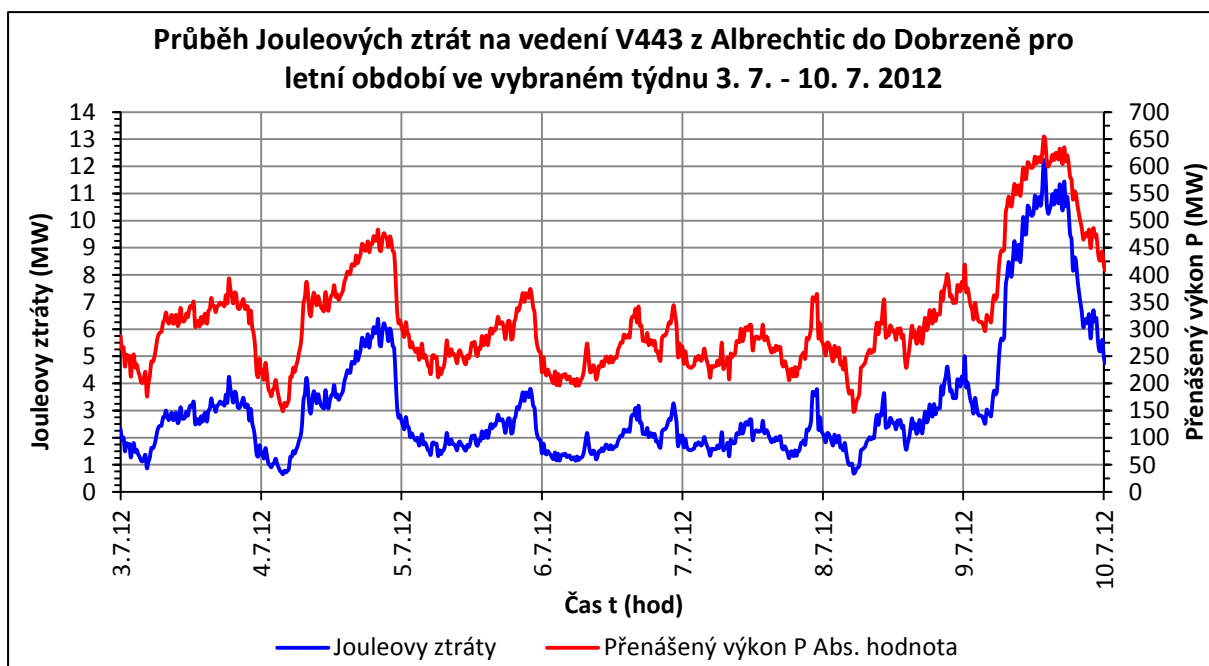
V této podkapitole jsem vybral ze dvou hraničních vedení z napětové hladiny 400 kV a ze dvou hraničních vedení napětové hladiny 220 kV. Z tohoto výběru jsem vybral jedno vedení z každé napětové hladiny, na kterém se porovnají a graficky zobrazí Jouleovy ztráty, jak se mění s přenášeným výkonem a s teplotou v ročním období. Proto budou jednotlivé průběhy pro každou napětovou hladinu a pro roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat s jednotlivými průběhy. Pro napětovou hladinu 400 kV jsem vybral vedení V443 z české rozvodny Albrechtice do polské rozvodny Dobrzeń a pro napětovou hladinu 220 kV jsem vybral vedení V246 z české rozvodny Lískovec do polské rozvodny Kopanina.

Hraniční vedení V443 – napětová hladina 400 kV

Tab. 4.9 – Parametry hraničního vedení V443 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

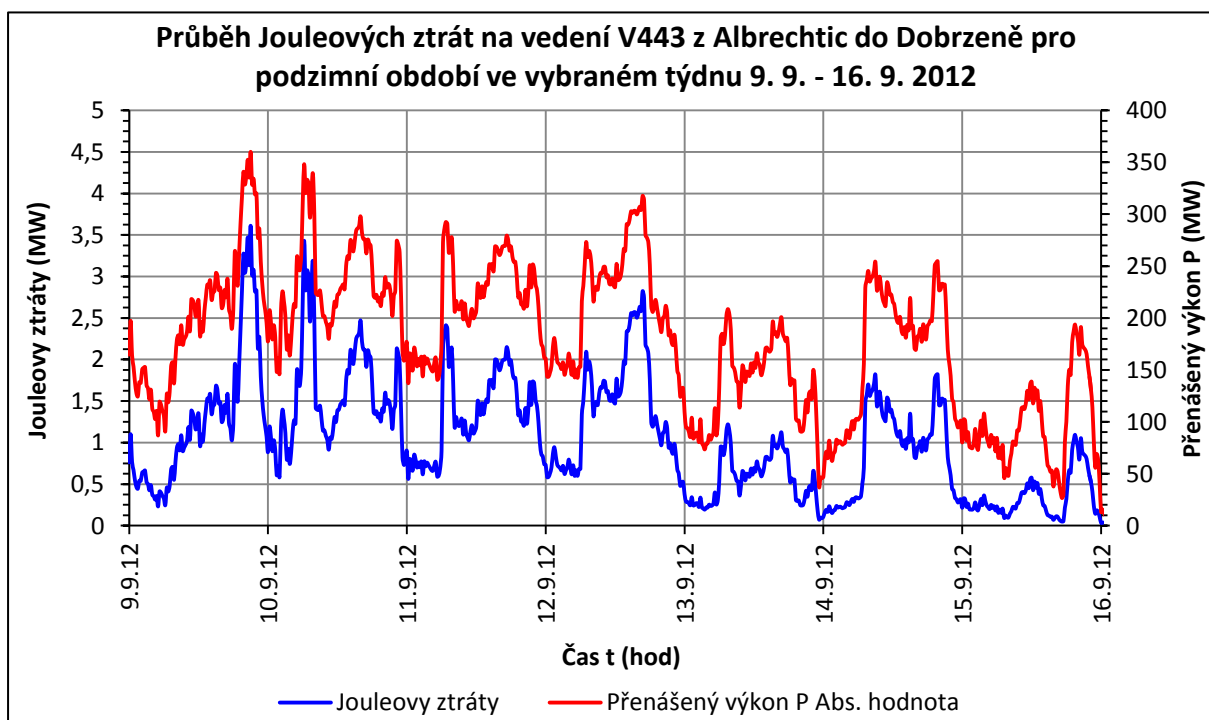
Hraniční vedení V443 z Albrechtic do Dobrzeń					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V443	157,31	4,67	49,01	595	287

Letní období – týdenní data



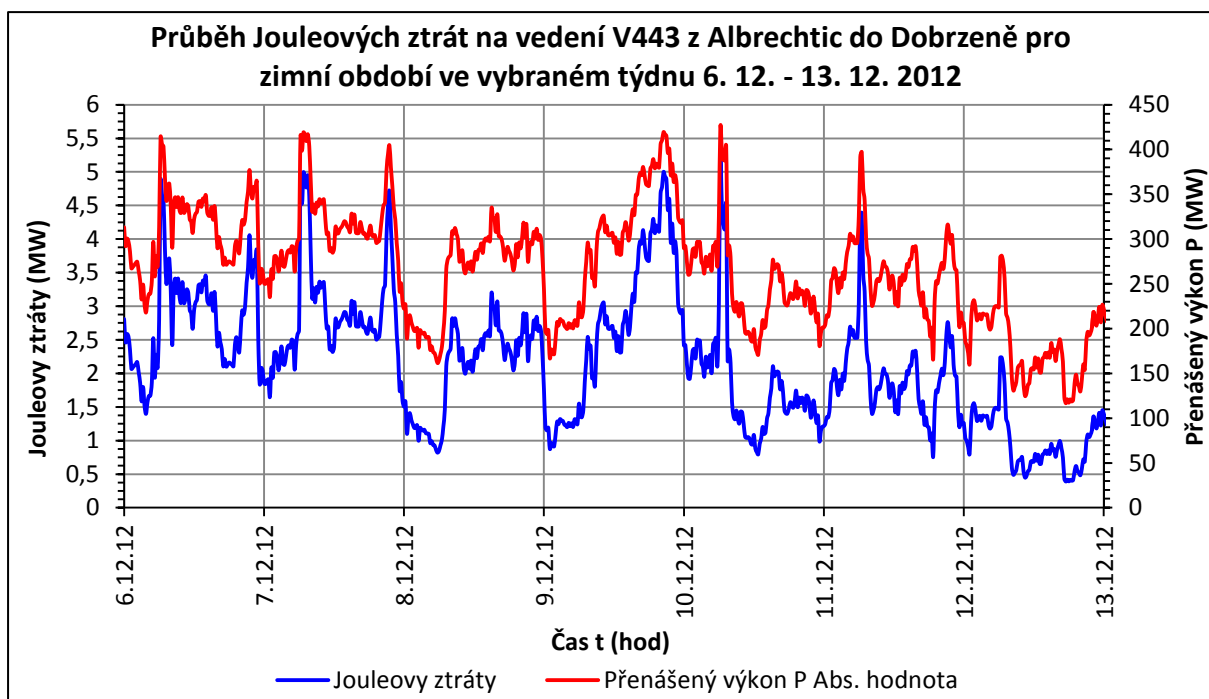
Graf 4.23 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V443 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.24 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V443 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.25 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V443 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

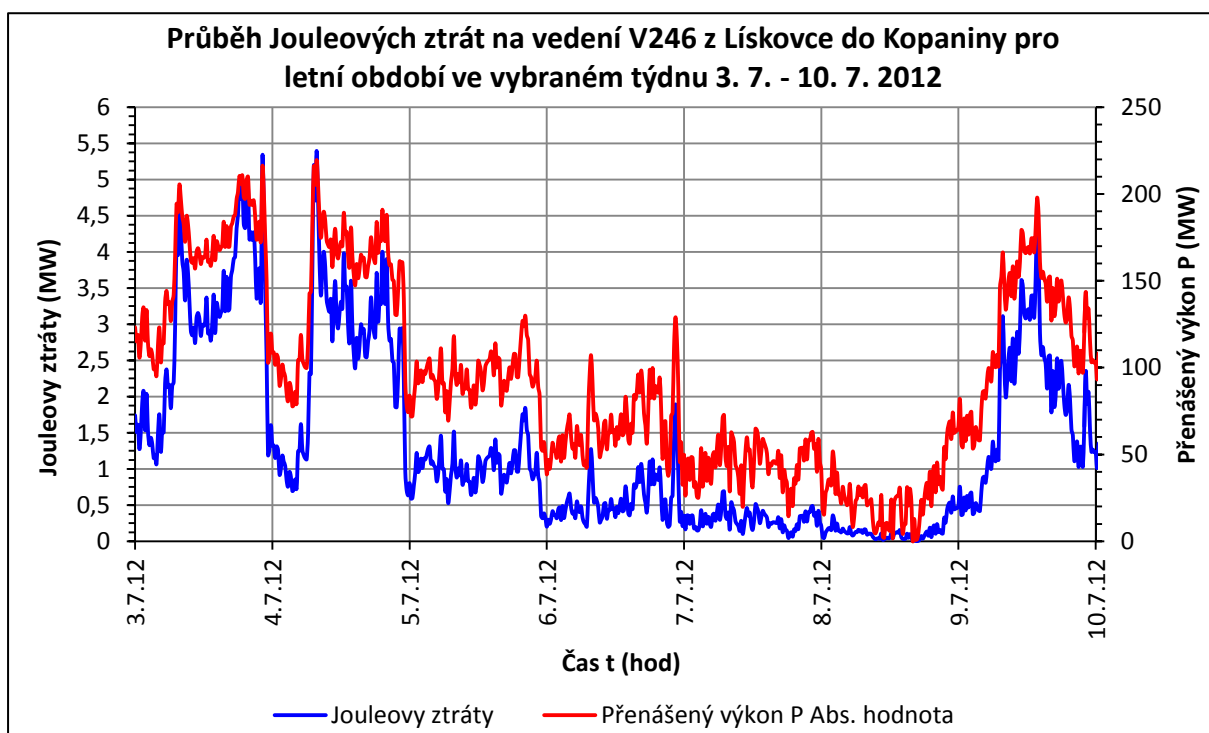
Při vypracování grafů pro dané roční období ve vybraném týdnu, pro polský profil napěťové hladiny 400 kV lze pozorovat, že největší Jouleovy ztráty na vedení V443 z Albrechtic do Dobrzeń, byly v letním období a to až po dvounásobek ztrát oproti podzimnímu a zimnímu období. Tyto ztráty se pohybovaly ve vybraném týdnu a postupně s dny rostly až do hodnoty 13 MW při přenášeném výkonu 654 MW. Tyto ztráty jsou způsobeny, jak svým přenášeným výkonem na tomto vedení, tak i teplotou okolí. Teplota okolí dosahovala v období léta v odpoledních hodinách až 40°C. Nejmenší ztráty byly v podzimním období, kde dosahovaly své maximální hodnoty 3,6 MW, při přenášeném výkonu do 352 MW. Přenášený výkon na dané lince nedosahoval konstantního průběhu, ale kolísal v určitém rozmezí výkonu. V období zimy ztráty nabývaly do hodnot 5 MW, při přenášeném výkonu do 424 MW. Přenášený výkon jak v předchozích vyhodnoceních se pohyboval nerovnoměrně, ale kolísal z důvodu nerovnoměrných odběrů v časových okamžicích na daném vedení.

Hraniční vedení V246 – napět'ová hladina 220 kV

Tab. 4.10 – Parametry hraničního vedení V246 pro výpočet Jouleových ztrát [9]

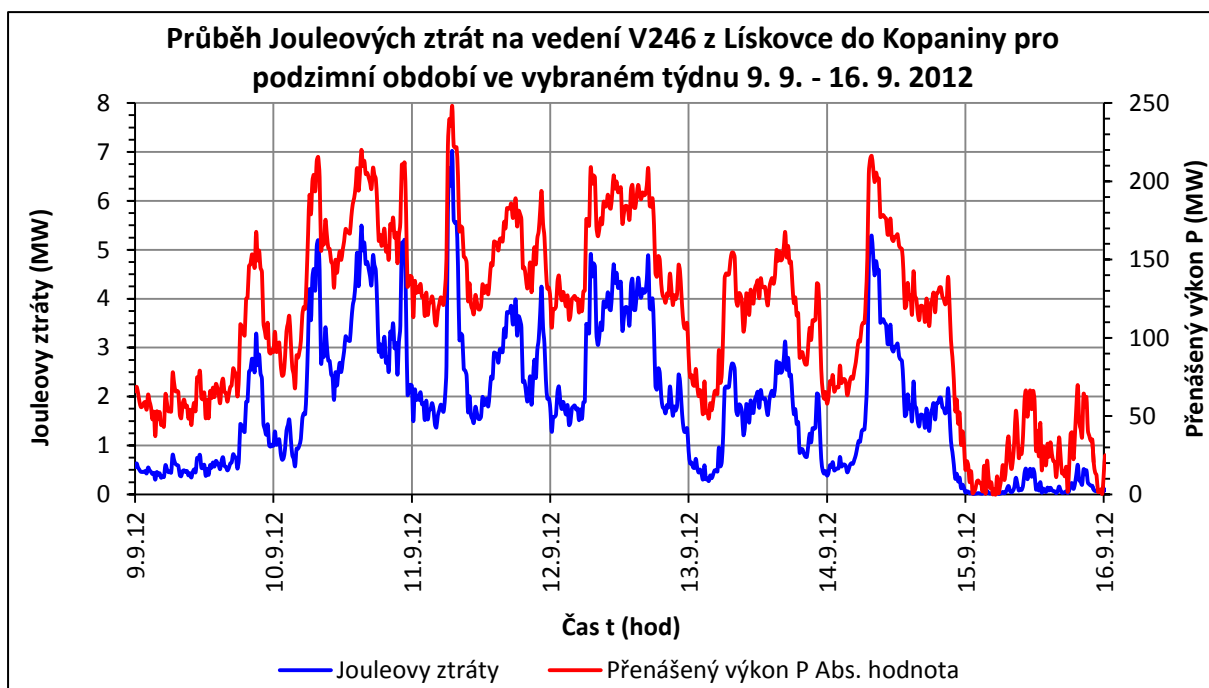
Hraniční vedení V246 z Lískovce do Kopaniny					
Číslo vedení	Délka vedení	R	X	B	Z_v
	(km)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V246	84,04	5,84	33,42	238	375

Letní období – týdenní data



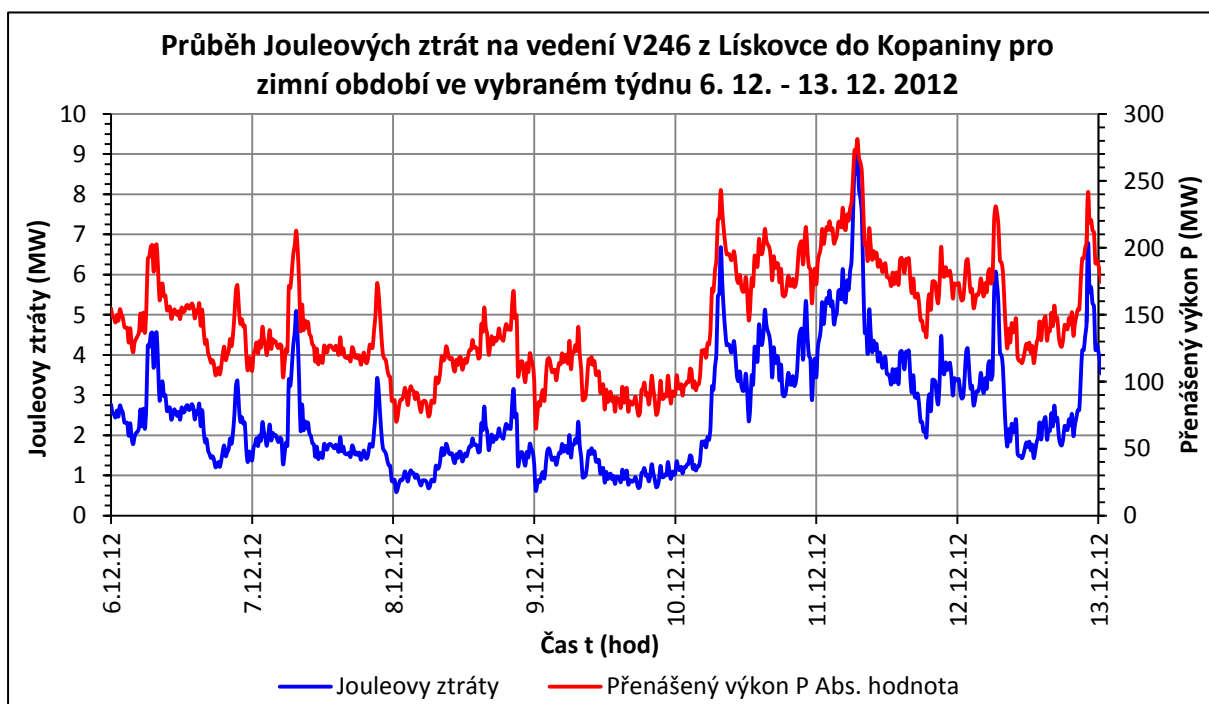
Graf 4.26 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.27 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.28 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vypracování grafů pro dané roční období ve vybraném týdnu, pro polský profil napěťové hladiny 220 kV lze říci, že Jouleovy ztráty na vedení V246 z Lískovce do Kopaniny, byly největší v zimě. Tyto ztráty se pohybovaly ve vybraném týdnu a postupně s dny rostly až do hodnoty 9 MW při přenášeném výkonu 272 MW. Tyto ztráty jsou způsobeny, jak svým přenášeným výkonem na této lince, tak i teplotou okolí, která může ovlivnit Jouleovy ztráty. Teplota okolí dosahovala v zimě až -14°C . Tato teplota zatížila vedení větším výkonem. Nejmenší ztráty byly v létě, kde dosahovaly své hodnoty ve dvou špičkových hodnotách a to 5,3 MW při přenášeném výkonu do 215 MW. Přenášený výkon na dané lince nedosahoval konstantního průběhu, ale kolísal v určitém rozmezí výkonu, že stoupal až do své maximální hodnoty a poté klesal. Na podzim ztráty dosahovaly do hodnot 7 MW při přenášeném výkonu do 250 MW a to pouze zase ve své špičkové hodnotě.

Při vypracování grafických závislostí Jouleových ztrát a přenášeném výkonu na všech sedmnácti hraničních vedeních, jsem použil závislost přenášeného výkonu v absolutní hodnotě, aby bylo vidět, jak přenášený výkon kopíruje Jouleovy ztráty, protože ztráty vychází vždy v kladných hodnotách, kdežto přenášený výkon může být v kladných nebo i záporných hodnotách podle toho zda se jedná o import nebo export výkonu. Pro správné určení skutečného přenášeného výkonu v daných sousedních zemích na vybraných vedeních jsem sestrojil tabulku z, které je zřejmé, jak se výkon na vedeních přenášel.

Tab. 4.11 – Průběh skutečného přenášeného výkonu na hraničních vedeních ČR

Hraniční vedení V442 a V445 z ČR do Německa			
Číslo vedení	Skutečný přenášený výkon na vedeních z ČR do zahraničí		
	Letní období	Podzimní období	Zimní období
V442	záporný výkon - vývoz	záporný/kladný výkon - vývoz/dovoz	záporný výkon - vývoz
V445	záporný/kladný výkon - vývoz/dovoz	kladný výkon - dovoz	kladný výkon - dovoz

Hraniční vedení V438 a V244 z ČR do Rakouska			
Číslo vedení	Skutečný přenášený výkon na vedeních z ČR do zahraničí		
	Letní období	Podzimní období	Zimní období
V438	záporný výkon - vývoz	záporný výkon - vývoz	záporný výkon - vývoz
V244	záporný výkon - vývoz	záporný výkon - vývoz	záporný/kladný výkon - vývoz/dovoz

Hraniční vedení V442 a V445 z ČR na Slovensko			
Číslo vedení	Skutečný přenášený výkon na vedeních z ČR do zahraničí		
	Letní období	Podzimní období	Zimní období
V497	záporný výkon - vývoz	záporný výkon - vývoz	záporný výkon - vývoz
V280	záporný výkon - vývoz	záporný výkon - vývoz	záporný výkon - vývoz

Hraniční vedení V438 a V244 z ČR do Polska			
Číslo vedení	Skutečný přenášený výkon na vedeních z ČR do zahraničí		
	Letní období	Podzimní období	Zimní období
V443	kladný výkon - dovoz	kladný výkon - dovoz	kladný výkon - dovoz
V246	kladný výkon - dovoz	kladný výkon - dovoz	kladný výkon - dovoz

4.4 Přenášený proud na hraničních vedeních přenosové soustavy z České republiky do zahraničí

V této kapitole budou uváděny ukázky skutečného přenášeného proudu na hraničních vedeních přenosové soustavy. Ukázky budou vybrány z užšího výběru sedmnácti hraničních vedení z ČR do sousedních států. Zde jsem vybral čtyři vedení přenosové soustavy, z tohoto výběru budou dvě vedení o napěťové hladině 400 kV pro sousední státy s Německem a Slovenskem a dále dvě vedení o napěťové hladině 220 kV pro sousední státy do Rakouska a Polska. Dále v této kapitole budou zobrazeny grafické průběhy s týdenními vzorky pro letní, podzimní a zimní období, aby bylo zřejmé, jak se mění průběh přenášeného proudu pro dané roční období. Pro letní období data z týdne 3. 7. – 10. 7. 2012, pro podzimní období z týdne 9. 9. – 16. 9. 2012 a pro zimní období z týdne 6. 12. – 13. 12. 2012. V grafu spolu s průběhem proudu na vedení bude vložen i průběh maximálního dovoleného zatížení daného vedení dle katalogových hodnot ČEPS, a.s., tento průběh bude tvořit pomyslnou hranici, do které se může dané vedení zatížit, aby nedošlo k proudovému přetížení vedení a poškození, pokud by se tato hodnota překročila. Ostatní průběhy přenášeného proudu budou vloženy v příloze II.

4.4.1 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro německý profil

V tomto bodě podkapitoly jsem si vybral jedno ze čtyř vedení z napěťové hladiny 400 kV. Z tohoto výběru se porovná a graficky zobrazí průběh přenášeného proudu v závislosti na maximálním dovoleném zatížení. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu 400 kV pro roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat mezi jednotlivými průběhy. Pro napěťovou hladinu 400 kV jsem vybral vedení V442 z české rozvodny Přeštic do německé rozvodny Etzenricht.

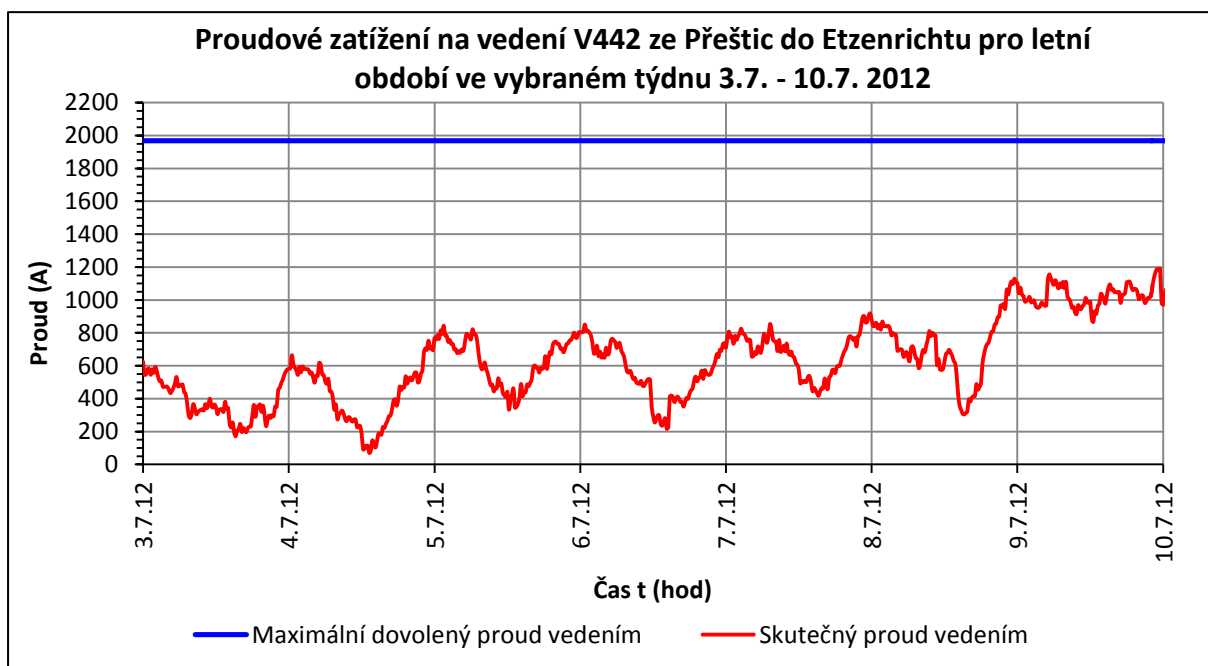
Pro ukázkou naměřených dat z energetické dispečinku ČEPS, a.s. jsem vložil *tabulku 4.12*, ve které lze nalézt skutečný přenášený proud na vedení, dále hranici dovoleného maximálního proudového zatížení dle katalogových hodnot ČEPS, a.s. a také vypočtené procentuální proudové využití vedení, podle kterého lze pozorovat, procento využití vedení. Pro ukázkou jsem použil data z vedení V441, které jsou z letního období z týdne 3. 7. – 10. 7. 2012, kde jsem vyznačil maximální dosaženou hodnotu skutečného přenášeného proudu i procentní zatížení vedení V441.

Tab. 4.12 – Ukázka naměřených dat skutečného přenášeného proudu a maximálního proudového zatížení z dispečinku ČEPS, a.s. na hraničním vedení V441 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012 [9]

Datum a čas	Skutečný přenášený proud na vedení V441	Maximální proudové zatížení veden V441í	Skutečné zatížení vedení V441
(hod)	(A)	(A)	(%)
6.7.12 3:00	823,20	1968	41,83
6.7.12 3:15	871,20	1968	44,27
6.7.12 3:30	829,20	1968	42,13
6.7.12 3:45	844,80	1968	42,93
6.7.12 4:00	835,20	1968	42,44
6.7.12 4:15	927,60	1968	47,13
6.7.12 4:30	914,40	1968	46,46
6.7.12 4:45	908,40	1968	46,16
6.7.12 5:00	919,20	1968	46,71
6.7.12 5:15	963,60	1968	48,96
6.7.12 5:30	979,20	1968	49,76
6.7.12 5:45	990,00	1968	50,30
6.7.12 6:00	912,00	1968	46,34
6.7.12 6:15	847,20	1968	43,05

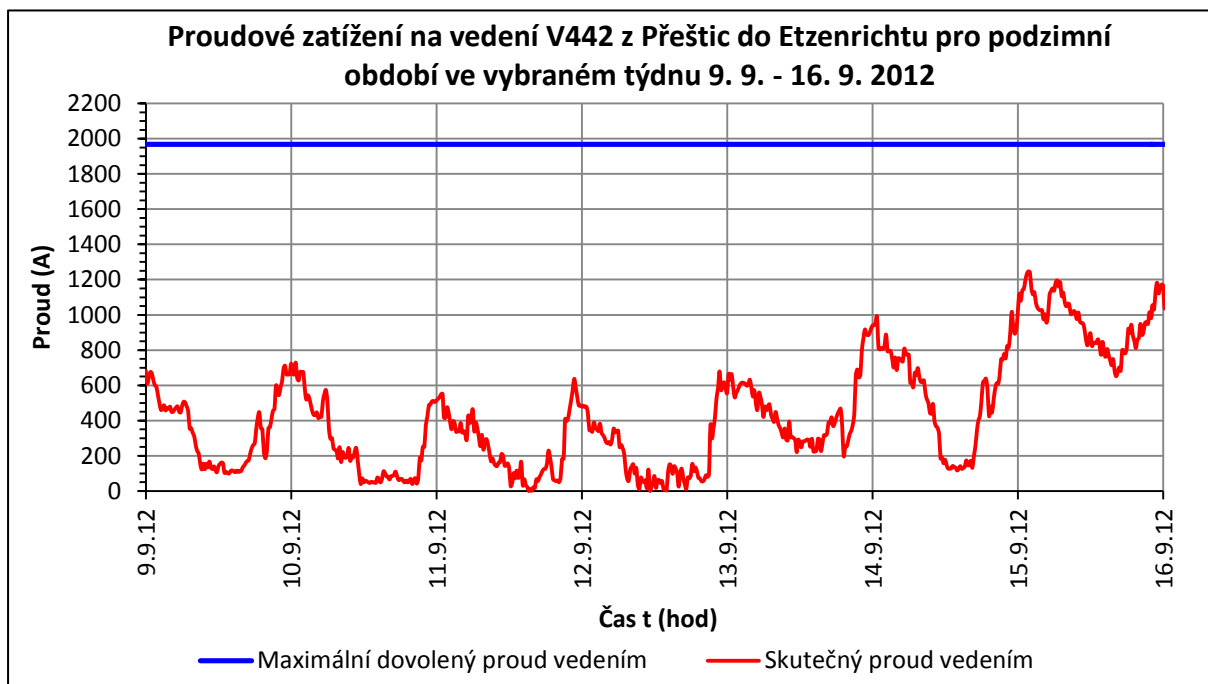
Hraniční vedení V442 – napěťová hladina 400 kV

Letní období – týdenní data



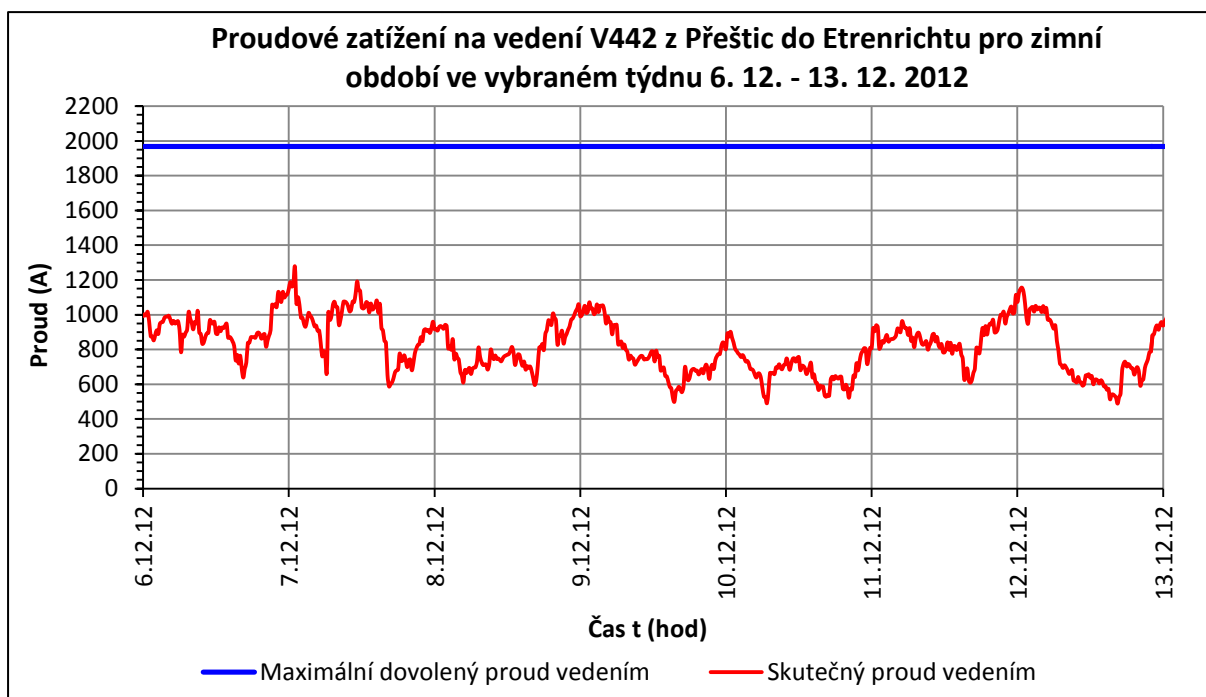
Graf 4.29 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.30 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.31 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

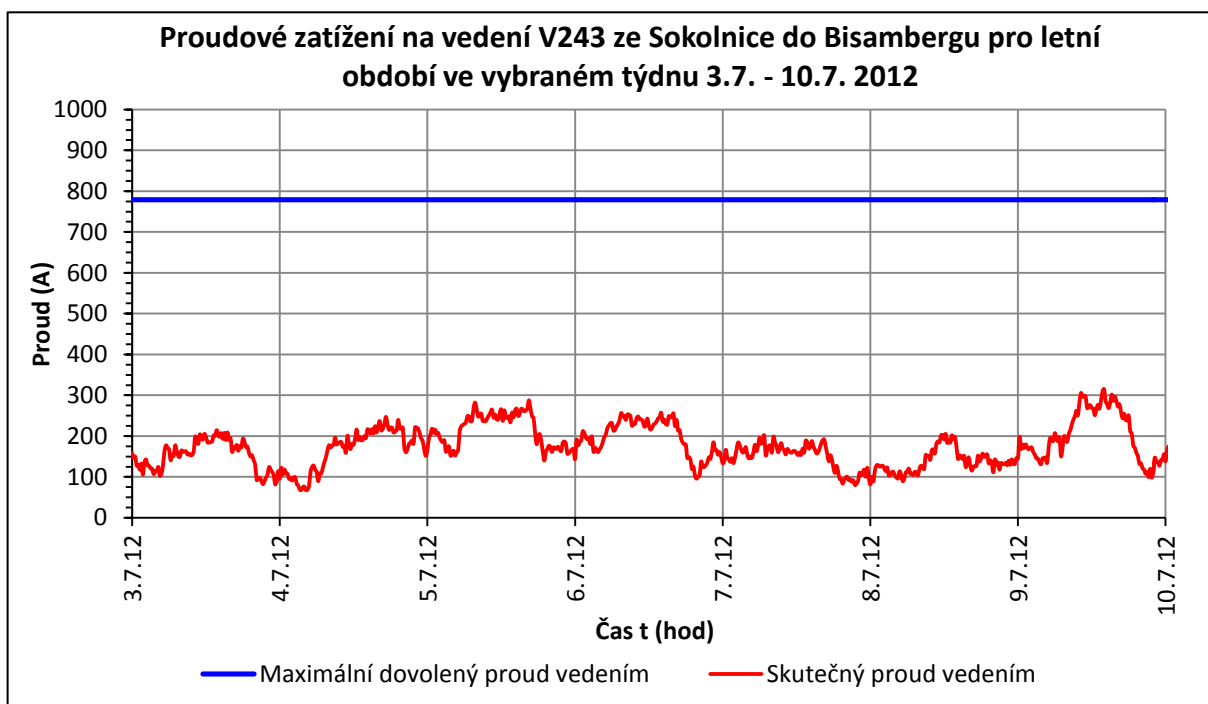
Při vypracování grafů pro dané roční období ve vybraném týdnu, v německém profilu napěťové hladiny 400 kV lze vidět, že procházející proud nepřekročil ve všech obdobích dovolenou hranici zatížení, která se pohybovala na hodnotě 1968 A. Přenášený proud na vedení V442 z Přestice do Etzenrichtu, byl největší v podzimním a zimním období, kde proud přesáhl hranici 1200 A. Tuto hranici dosáhl až na konci týdne v podzimním období, v průběhu týdne dosahoval proud hodnoty do 900 A, kdežto v zimním období dosáhl hodnoty na začátku týdne a proud se pak pohyboval kolem hranice 1200 A. Nejmenší přenášený proud byl v letním období kde dosáhl své maximální hodnoty 1168 A, jinak se proud pohyboval kolem hodnoty 900 A, tuto hranici proudu překročil až v posledním dnu vybraného týdne. Skutečné využití proudového zatížení na vedení V441 v letním období je od 3,53 % do 60,36 %, pro podzimní období to je od 0,06 % do 60,35 % a v posledním zimním období to je od 24,81 % do 64,87 %. Z těchto hodnot vyplývá, že vedení V441 ve třech ročních obdobích má značné proudové rezervy ale musíme uvažovat, že vedení nesmí být zatíženo na maximální dovolenou hodnotu proudu, ale musí mít určité rezervy z důvodu výpadku, nebo poškození vedení v určitém místě České republiky a proud (výkon) se musí přenést jiným vedením.

4.4.2 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro rakouský profil

V tomto bodě podkapitoly jsem vybral ze dvou paralelních vedení z napěťové hladiny 400 kV a ze dvou paralelních vedení z napěťové hladiny 220 kV pouze jedno vedení z napěťové hladiny 220 kV, na kterém se porovnají a graficky zobrazí průběhy přenášeného proudu v závislosti na maximálním dovoleném zatížení vedení. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu 220 kV pro roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat mezi jednotlivými průběhy. Pro napěťovou hladinu 220 kV jsem vybral vedení V243 z české rozvodny Sokolnice do rakouské rozvodny Bisamberg.

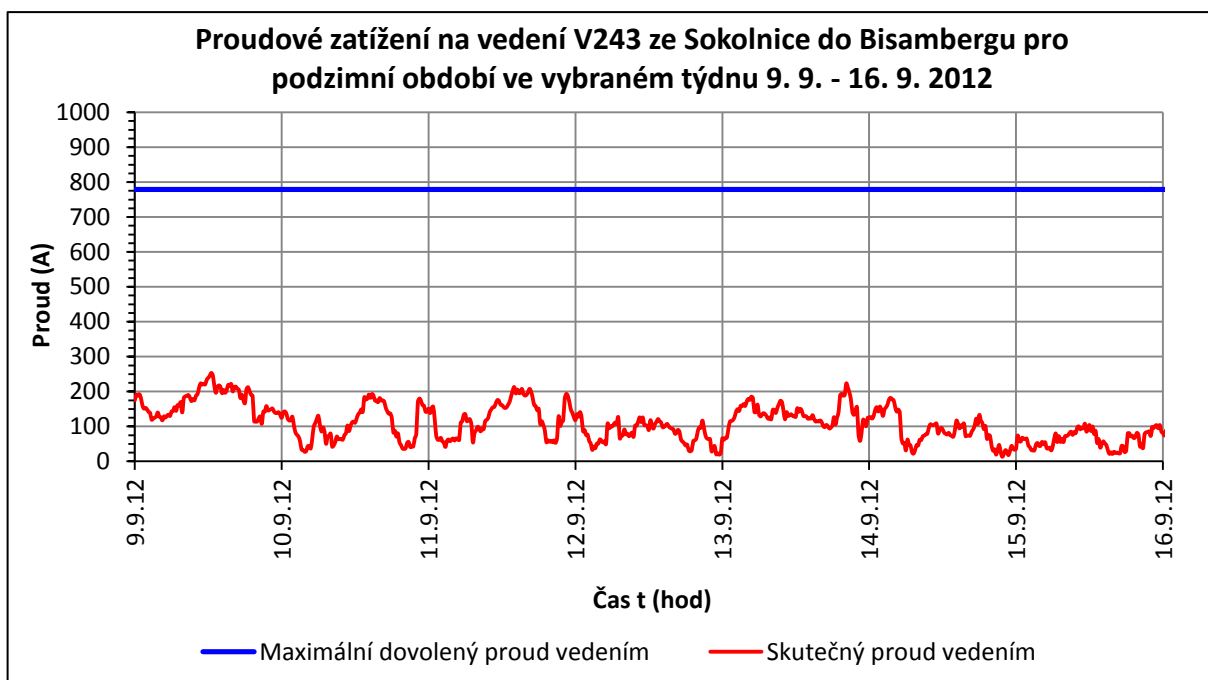
Hraniční vedení V243 – napěťová hladina 220 kV

Letní období – týdenní data



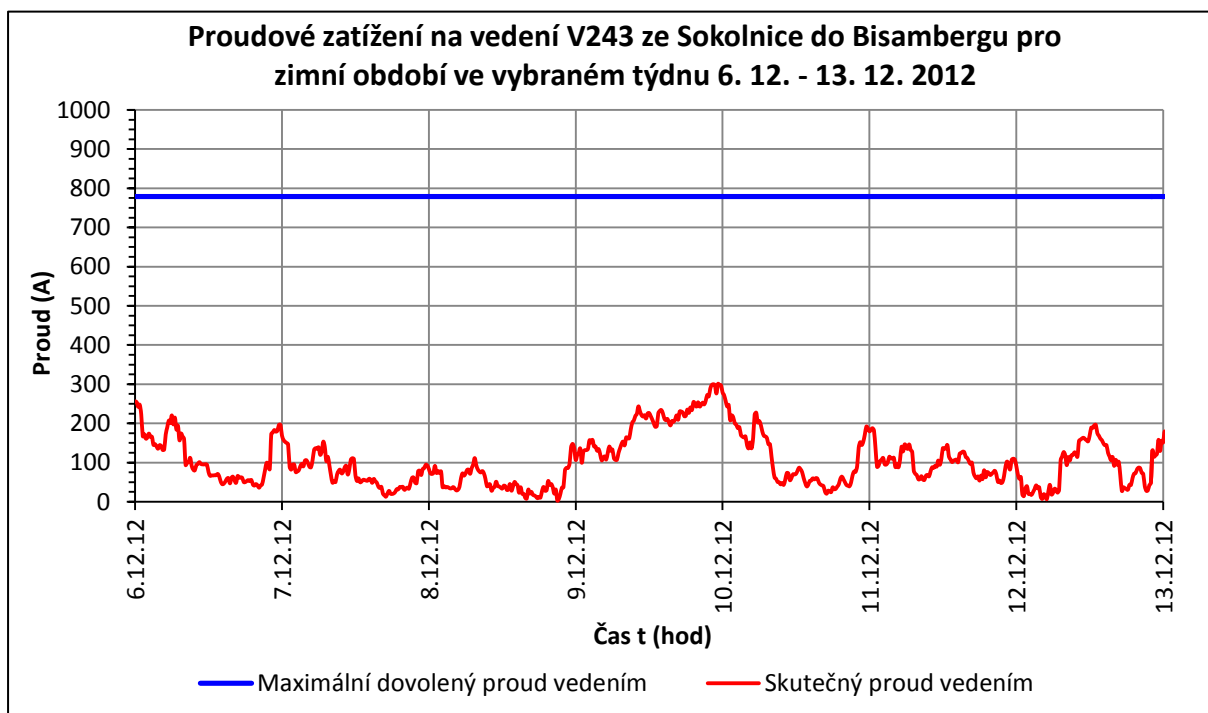
Graf 4.32 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V243 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.33 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V243 z ČR do Rakouska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.34 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V243 z ČR do Rakouska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

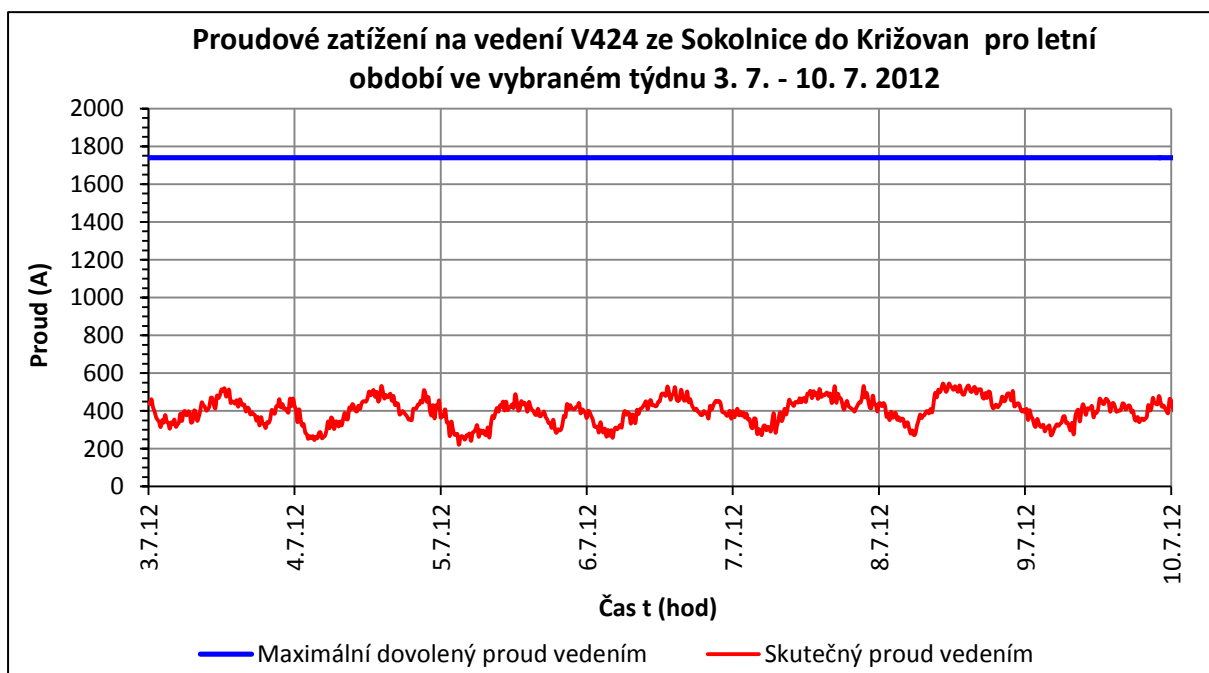
Při vypracování grafů pro dané roční období ve vybraném týdnu, v rakouském profilu napět'ové hladiny 220 kV si můžeme všimnout, že procházející proud nepřekročil ve všech obdobích dovolenou hranici zatížení, která se pohybovala na hodnotě 779 A. Přenášený proud na vedení V243 ze Sokolnice do Bisambergu, nepřekročil v žádném ze tří ročních období hodnotu 300 A. Skutečné proudové zatížení na vedení V243 v letním období je od 8,69 % do 40,41 %, pro podzimní období to je od 1,69 % do 32,54 % a v posledním zimním období to je od 0,39 % do 38,60 %. Z těchto hodnot vyplývá, že vedení V243 ve třech ročních obdobích má velké proudové rezervy, ale zase musíme uvažovat, že vedení nesmí být zatíženo na maximální dovolenou hodnotu proudu, ale musí mít vždy určité rezervy z důvodu výpadku, nebo poškození vedení v určitém místě České republiky a proud (výkon) se musí přenést jiným vedením. Ale v tomto případě toto vedení V243 je provozováno velice neefektivně, neboť rezervy jsou velice značné až 60%.

4.4.3 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro slovenský profil

V tomto bodě podkapitoly pro slovenský profil jsem si vybral jedno ze tří vedení z napět'ové hladiny 400 kV a ze dvou vedení z napět'ové hladiny 220 kV pouze jedno vedení z napět'ové hladiny 400 kV. Z tohoto výběru se porovnají a graficky zobrazí průběhy přenášeného proudu v závislosti na maximálním dovoleném zatížení. Proto budou jednotlivé průběhy pro napět'ovou hladinu 400 kV a pro roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat s jednotlivými průběhy. Pro napět'ovou hladinu 400 kV jsem vybral vedení V424 z české rozvodny Sokolnice do slovenské rozvodny Križovany.

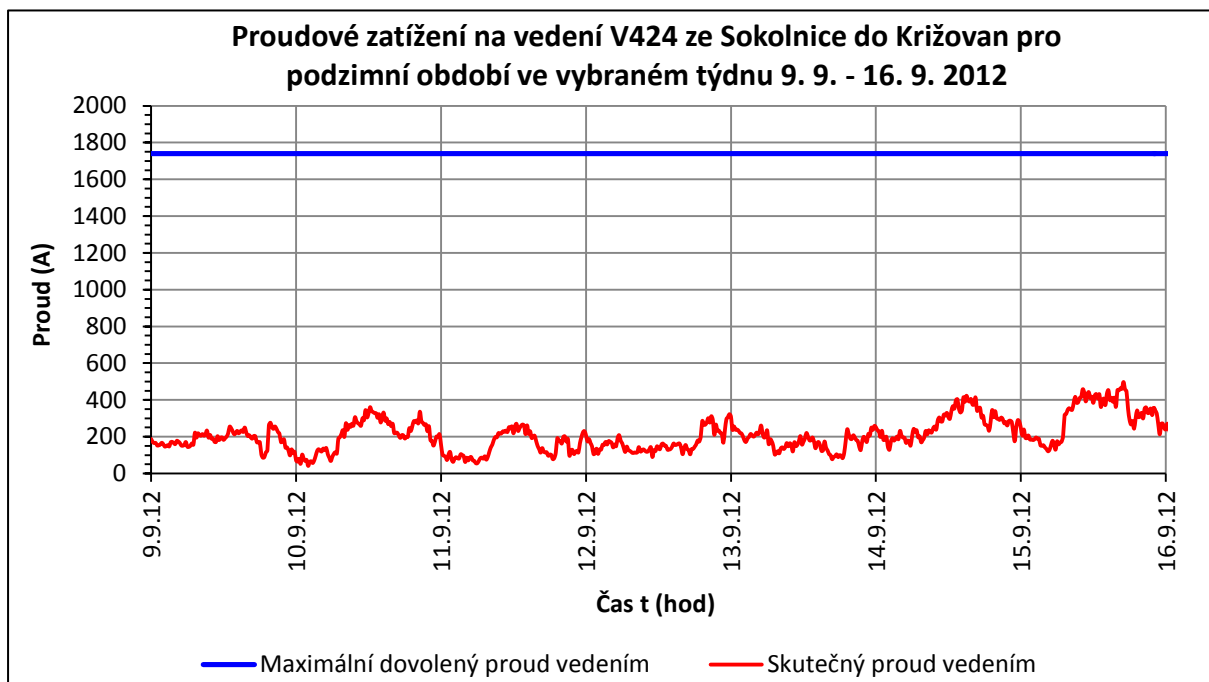
Hraniční vedení V424 – napěťová hladina 400 kV

Letní období – týdenní data



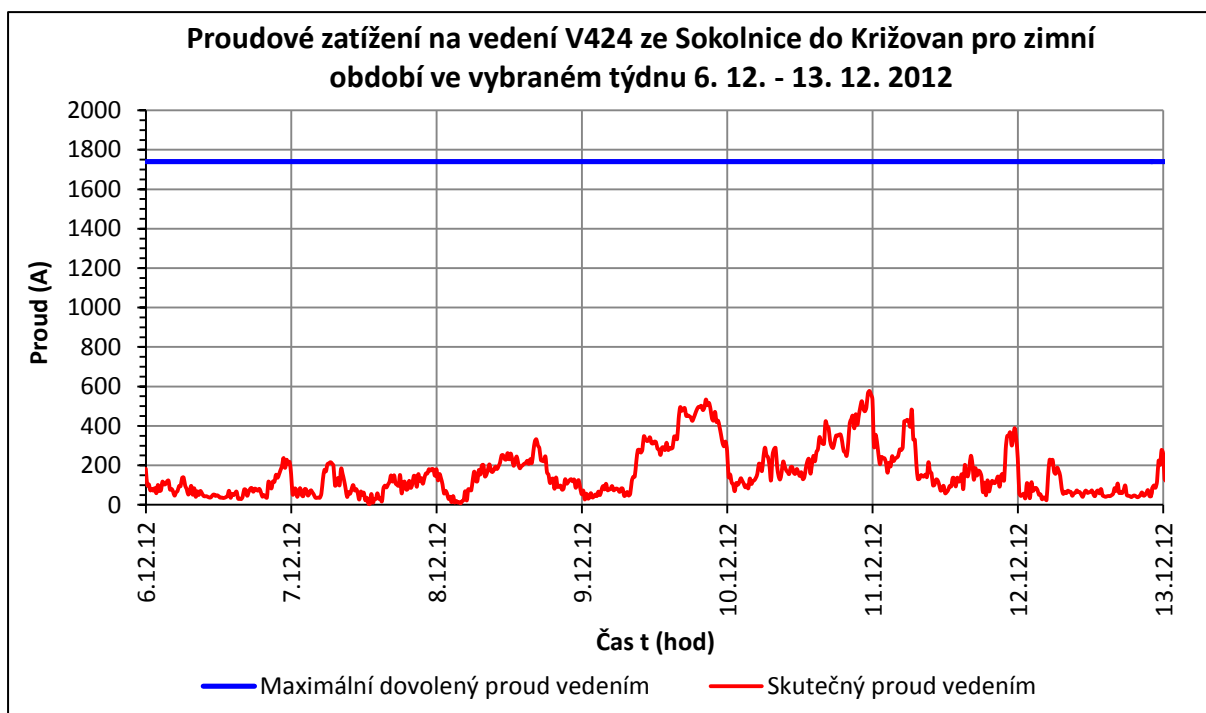
Graf 4.35 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V424 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.36 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V424 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.37 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V424 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

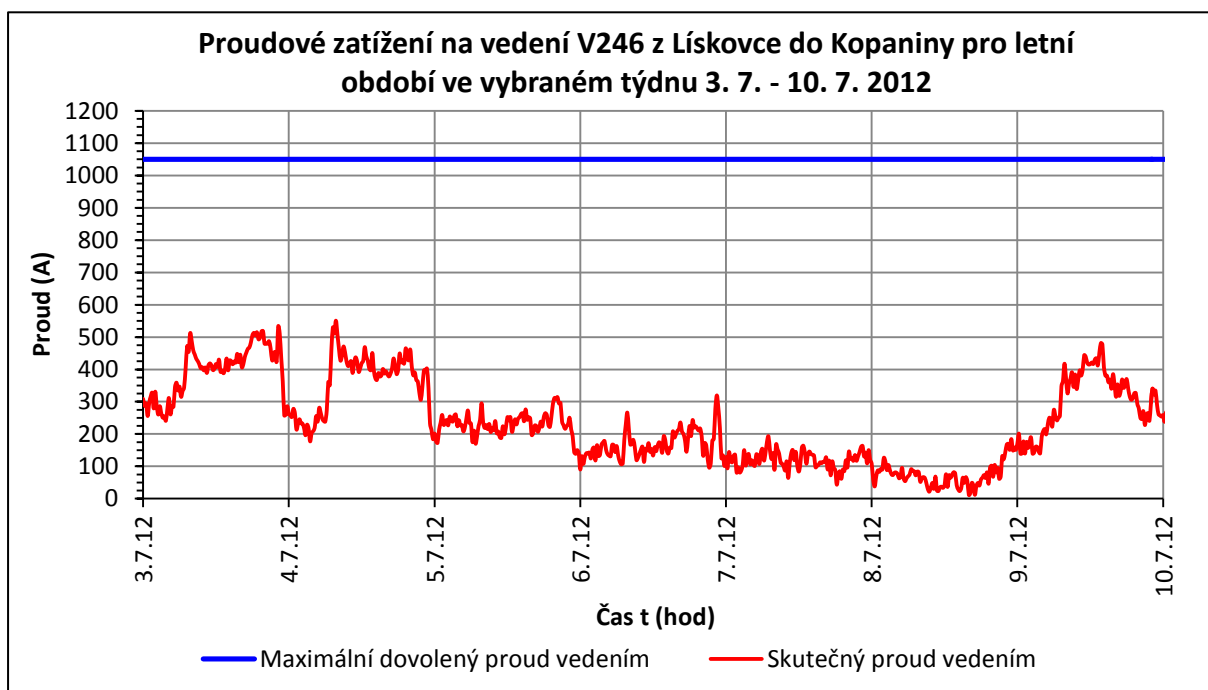
Při vypracování grafů pro dané tři roční období ve vybraném týdnu, pro slovenský profil napěťové hladiny 400 kV lze vidět, že procházející proud nepřekročil ve všech obdobích dovolenou hranici zatížení, která se pohybovala na hodnotě 1740 A, ale pohyboval se výrazně pod touto hranicí a tvořil značnou rezervu na vedení. Přenášený proud na vedení V424 ze Sokolnice do Křižovan, se pohyboval na ve všech případech do hodnoty 600 A. V letním období přenášený proud se pohyboval konstantně v rozmezí mezi hodnotami 200 A až 600 A. V podzimním období se tato hodnota proudu pohybovala v rozmezí hodnot od 100 A do 450 A V posledním zimním období se procházející proud pohyboval na minimálních hodnotách a s postupem dní narůstal až do zmíněné hodnoty 600 A. Skutečné využití proudového zatížení na vedení V424 podle vypočtených hodnot v letním období je od 12,68 % do 31,31 %, pro podzimní období to je od 2,35 % do 28,60 % a v posledním zimním období to je od 0,26 % do 33,18 %. Z těchto údajů vyplývá, že vedení V424 má značné proudové rezervy, a to až 66,82 % pro maximální hodnotu, ale musíme uvažovat, že vedení nesmí být zatíženo na maximální dovolenou hodnotu proudu, ale musí mít vždy určité rezervy z důvodu výpadku nebo poškození vedení v dané lokalitě ČR a proud (výkon) se musí přenést jiným vedením. V tomto případě je vedení proudově nevyužito.

4.4.4 Přenášený proud na vybraném hraničním vedení pro polský profil

V tomto bodě podkapitoly jsem vybral ze dvou vedení o napěťové hladině 400 kV a ze dvou vedení o napěťové hladině 220 kV pouze jedno vedení z napěťové hladiny 220 kV, na kterém se porovnají a graficky zobrazí průběhy přenášeného proudu v závislosti na maximálním dovoleném zatížení vedení. Proto budou jednotlivé průběhy pro zvolenou napěťovou hladinu 220 kV a roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat mezi jednotlivými průběhy. Pro napěťovou hladinu 220 kV jsem vybral vedení V246 z české rozvodny Lískovec do polské rozvodny Kopanina.

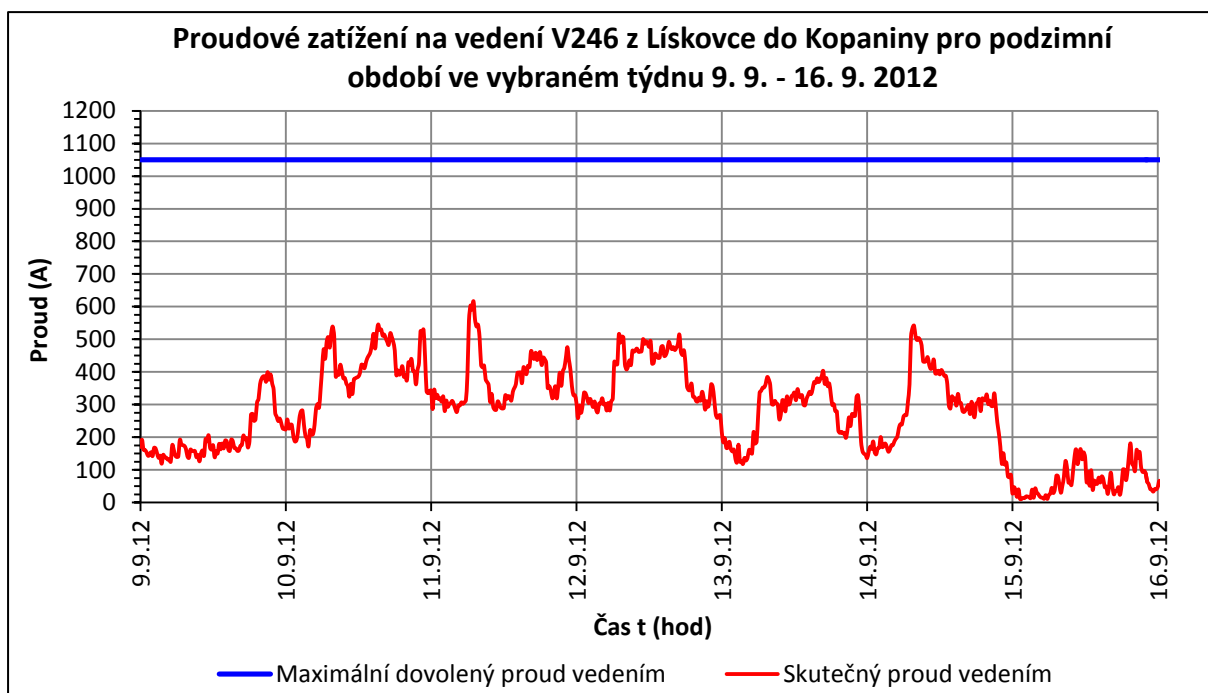
Hraniční vedení V246 – napěťová hladina 220 kV

Letní období – týdenní data



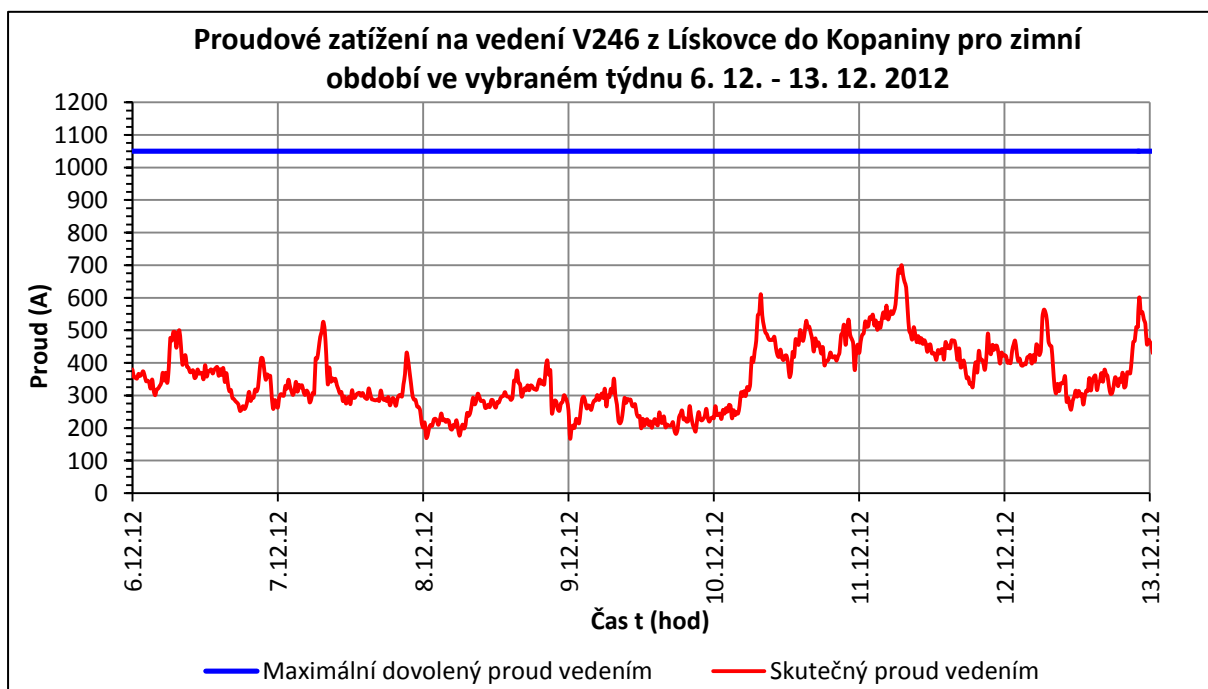
Graf 4.38 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.39 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.40 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

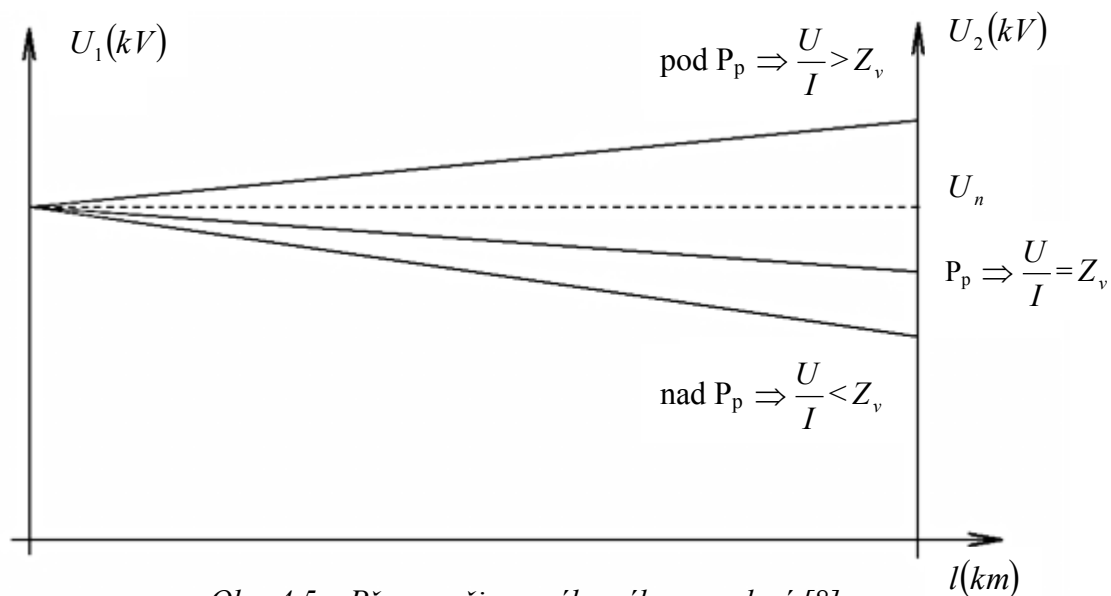
Při vypracování grafů pro dané roční období ve vybraném týdnu v polském profilu pro vedení v napěťové hladině 220 kV byl procházející proud největší v zimním období, kdy dosáhl své maximální hodnoty 686 A, tato hodnota byla pouze špičková, jinak přenášený proud v tomto týdnu kolísal v rozmezí hodnot od 168 A do 611 A. V podzimním období přenášený proud se pohyboval v rozmezí hodnot od 13,5 A do své maximální hodnoty 603 A, minimální hodnota byla v posledním dnu vybraného týdne, kdy se proud na vedení pohyboval s minimální hodnotou V posledním letním období nedosáhl přenášený proud hranice 600 A, ale dosáhl své maximální hodnoty 530 A, tato hodnota byla dosažena v začátku týdne a potom přenášený proud pozvolna klesal až do hodnoty 20 A, která byla dosažena v posledních dnech vybraného týdne v letním období. Přenášený proud ve všech ročních obdobích nepřesáhl hranici dovoleného proudového zatížení vedení, která se pohybovala na hodnotě 1050 A, ale pohyboval se výrazně pod touto hranicí a tvořil značnou rezervu na vedení. Skutečné využití proudového zatížení na vedení V246 podle vypočtených hodnot v letním období je od 1,11 % do 52,35 %, pro podzimní období to je od 1,02 % do 58,71 % a v posledním zimním období to je od 16,02 % do 66,68 %. Z těchto údajů vyplývá, že vedení V246 má své proudové rezervy, a to až 33,32 % pro maximální hodnotu, ale musíme uvažovat, že vedení nesmí být zatíženo na maximální dovolenou hodnotu proudu, ale musí mít vždy určité rezervy z důvodu výpadku nebo poškození vedení v dané lokalitě ČR a proud (výkon) se musí přenést jiným vedením.

4.5 Přirozený výkon na vedeních přenosové soustavy VVN a ZVN

Přirozený výkon vzniká z Ferrantiho jevu, když na konci vedení se postupně zvyšuje napětí až do okamžiku, kdy napětí na začátku vedení a na konci vedení se rovnají ($U_{1f} = U_{2f}$). Právě v tomto okamžiku se vedením přenáší přirozený výkon vedení P_p a na konci vedení je připojena zátěž, jejíž impedance se rovná vlnové impedanci vedení Z_v .

Při přenosu přirozeného výkonu vzniká nejpříznivější stav na vedení, v tomto okamžiku jsou minimální ztráty, které jsou způsobeny činným odporem, tudíž i jalový výkon je nulový, protože energie elektrostatického a magnetického pole jsou stejné, jelikož působí proti sobě a tím se navzájem vyruší.

Pokud je výkon na vedení přenášen pod přirozeným výkonem P_p má kapacitní charakter, (vzniká přepětí) a dodává do sítě jalový výkon. Naopak, když je vedení provozováno nad přirozeným výkonem P_p , má induktivní charakter a odebírá jalový výkon.



Obr. 4.5 – Přenos přirozeného výkonu vedení [8]

Vyjádření vlnové impedance pomocí energie magnetického a elektrostatického pole

$$\frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 \quad (4.8)$$

$$\left(\frac{U}{I}\right)^2 = \frac{L}{C} \quad (4.9)$$

$$Z_v^2 = \frac{L}{C} \quad (4.10)$$

$$Z_v = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega) \quad (4.11)$$

Z_v	vlnová impedance vedení	(Ω)
U	fázové napětí	(V)
I	proud vedením	(A)
L	indukčnost vedení	(H)
C	kapacita vedení	(F)

Vyjádření vlnové impedance pomocí parametrů vedení

$$Z_v = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L \cdot \left(\frac{R}{L} + j\omega\right)}{C \cdot \left(\frac{G}{C} + j\omega\right)}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega) \quad (4.12)$$

Z_v	vlnová impedance vedení	(Ω)
R	činný odpor vedení	(Ω)
L	indukčnost vedení	(H)
C	kapacita vedení	(F)
G	svodová vodivost vedení	(S)

Vyjádření přirozeného výkonu vedení pomocí vlnové impedance

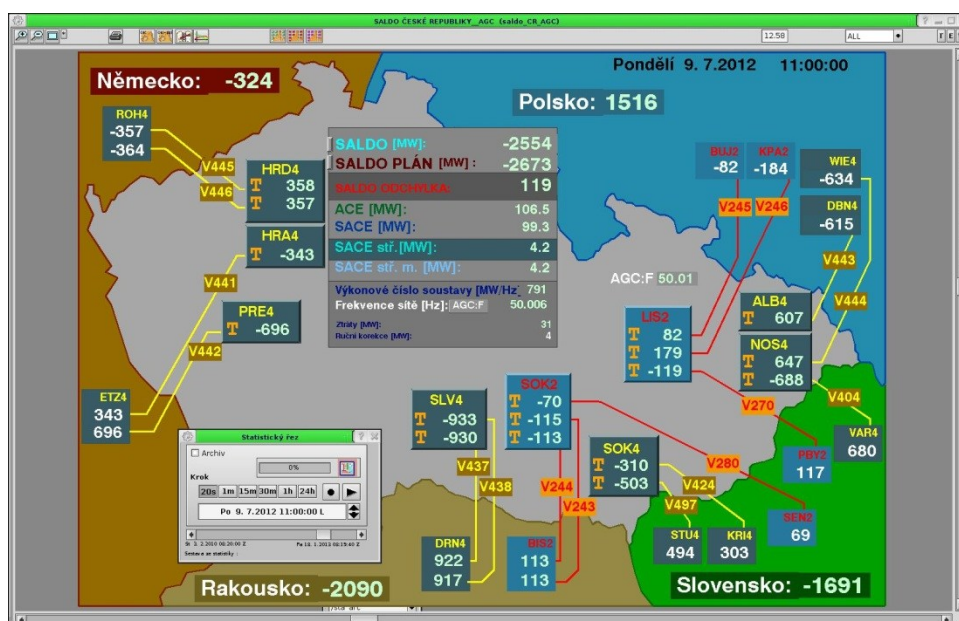
$$P_p = 3 \cdot U_f \cdot I = 3 \cdot U_f \cdot \frac{U_f}{Z_v} = 3 \cdot \frac{U_f^2}{Z_v} = 3 \cdot \frac{\left(\frac{U_s}{\sqrt{3}}\right)^2}{Z_v} = 3 \cdot \frac{U_s^2}{3 \cdot Z_v} = \frac{U_s^2}{Z_v}$$

$$P_p = \frac{U_s^2}{Z_v} \quad (\text{W}) \quad (4.12)$$

P_p	přirozený výkon	(W)
U_f	fázové napětí	(V)
U_s	sdružené napětí	(V)
I	proud vedením	(A)

4.6 Přenášený výkon vztažený k přirozenému výkonu na hraničních vedeních přenosové soustavy z České republiky do zahraničí

Pro tuto kapitolu jsem zpracovával data o přenášeném výkonu na hraničních vedeních a přirozeném výkonu na hraničních vedeních. Při zpracování dat jsem měl zjistit, jak se požadované vedení chová z hlediska přenášeného výkonu, zda je pod nebo nad přirozeným výkonem, a tedy jestli je vedení kapacitního nebo induktivního charakteru. Jak se vedení chová z hlediska přenosu přirozeného vedení, je popsáno v kapitole 4.5. Ukázky dat budou z užšího výběru sedmnácti hraničních vedení z ČR do zahraničí. Zde jsem vybral čtyři hraniční vedení přenosové soustavy, kde dvě vedení budou pro napětovou hladinu 400 kV pro sousední státy s Německem a Slovenskem a dále dvě vedení pro napětovou hladinu 220 kV pro sousední státy s Rakouskem a Polskem. Pro představu budou zobrazeny grafické průběhy s týdenními vzorky pro letní, podzimní a zimní období, aby bylo zřejmé, jak se mění průběh přenášeného výkonu vůči přirozenému výkonu na vedení pro dané roční období. Pro letní období budou data z týdne 3. 7. – 10. 7. 2012, pro podzimní období z týdne 9. 9. – 16. 9. 2012 a pro zimní období z týdne 6. 12. – 13. 12. 2012. Přenášené toky výkonu vzhledem k propojené soustavě ČR jsou většinou přítokové z Polska a odtokové do Německa, Rakouska a na Slovensko, jak ukazuje *obr. 4.6*, ale tato situace se může změnit s ohledem na přenášené toky výkonu do sousedních zemí. Ostatní průběhy přenášeného výkonu v závislosti na přirozeném výkonu, budou vloženy v příloze III.



Obr. 4.6 – Ukázka přenášeného výkonu v letním období 9. 7. 2012 v 11 hodin mezi státy ČR [9]

4.6.1 Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro německý profil

V této podkapitole jsem si vybral z německého profilu jedno ze čtyř hraničních vedení z napěťové hladiny 400 kV. Z tohoto užšího výběru se porovnají a graficky zobrazí průběhy skutečného přenášeného výkonu i přenášeného výkonu v absolutní hodnotě z důvodů snadnějšího porovnání průběhu v závislosti na přirozeném výkonu. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu 400 kV a roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat mezi jednotlivými průběhy. Pro napěťovou hladinu 400 kV jsem vybral vedení V442 z české rozvodny Přeštice do německé rozvodny Etzenricht.

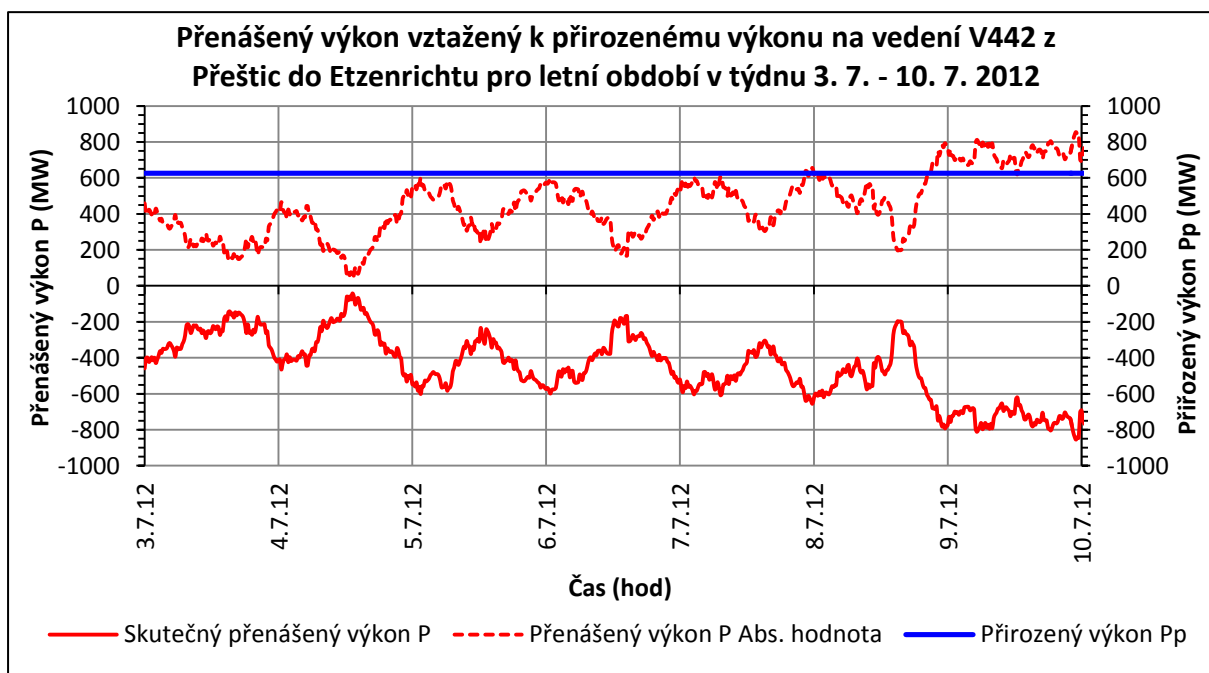
Pro ukázkou naměřených dat z energetické dispečinku ČEPS, a.s. jsem zde vložil tabulku 4.13, ve které lze nalézt skutečný přenášený výkon dále přenášený výkon v absolutní hodnotě a velikost přirozeného výkonu. Pro ukázkou jsem použil data z vedení V441, které jsou z letního období a vybraného týdne 3. 7. – 10. 7. 2012, kde pro ukázkou bude vypočtena hodnota výkonu v MW, tento výkon představuje hodnotu, který zbývá do přirozeného výkonu. Záporná hodnota určuje, kolik výkonu zbývá do přirozeného výkonu a kladná hodnota značí kolik výkonu je nad přirozeným výkonem.

Tab. 4.13 – Ukázka naměřených dat skutečného přenášeného proudu a přirozeného výkonu z dispečinku ČEPS, a.s. na hraničním vedení V441 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012 [9]

Datum a čas	Skutečný přenášený výkon na vedení V441	Přirozený výkon na vedení V441	Přenášený výkon na V441 absolutní hodnota	Zbývající hodnota výkonu do přirozeného výkonu	Procentní využití přenášeného výkonu do přirozeného výkonu
(hod)	(MW)	(MW)	(MW)	(MW)	(%)
5.7.12 23:15	-579,67	615	579,67	-35,33	94,26
5.7.12 23:30	-602,61	615	602,61	-12,39	97,99
5.7.12 23:45	-619,20	615	619,20	4,20	100,68
6.7.12 0:00	-616,21	615	616,21	1,21	100,20
6.7.12 0:15	-616,21	615	616,21	1,21	100,20
6.7.12 0:30	-630,79	615	630,79	15,79	102,57
6.7.12 0:45	-663,46	615	663,46	48,46	107,88
6.7.12 1:00	-637,15	615	637,15	22,15	103,60
6.7.12 1:15	-662,46	615	662,46	47,46	107,72
6.7.12 1:30	-673,69	615	673,69	58,69	109,54
6.7.12 1:45	-659,60	615	659,60	44,60	107,25
6.7.12 2:00	-615,71	615	615,71	0,71	100,12
6.7.12 2:15	-579,67	615	579,67	-35,33	94,26
6.7.12 2:30	-598,25	615	598,25	-16,75	97,28

Hraniční vedení V442 – napět'ová hladina 400 kV

Letní období – týdenní data



Graf 4.41 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.42 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.43 – Průběh přenášeného výkonu vztažený k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vypracování grafů pro toto vedení v daných třech ročních obdobích ve vybraném týdnu, pro německý profil napěťové hladiny 400 kV můžeme pozorovat, že přenášený výkon na vedení vždy v určitém místě překročil hranici přirozeného výkonu, která byla na hodnotě 626 MW. V letním a zimním období si lze povšimnout, že skutečný výkon se pohyboval v záporných hodnotách, což znamená, že výkon tekl z České republiky do Německa a v zimním období se skutečný přenášený výkon pohyboval většinou v záporných hodnotách, ale dosáhl i kladných hodnot, což znamená, že výkon tekl z České republiky do Německa a v daném okamžiku zase tekl z Německa do České republiky. Jen pro srovnání přenášeného výkonu s přirozeným výkonem jsou použity hodnoty přenášeného výkonu v absolutní hodnotě. Největší přenášený výkon byl v zimním období, kdy dosáhl hodnoty -858 MW, dále přenášený výkon se v tomto období pohyboval střídavě přes hranici přirozeného výkonu. V letním a podzimním období byl skutečný přenášený výkon téměř shodný, neboť dosáhl své maximální hodnoty až v posledních dnech vybraného týdne, a tím i překročil hodnotu přirozeného výkonu. V letním období se přenášený výkon pohyboval od -60 MW až do hodnoty -812 MW. V podzimním období to bylo od kladné hodnoty, která nabývala 93 MW až do záporné hodnoty -816 MW.

4.6.2 Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro rakouský profil

V této podkapitole jsem si vybral z rakouského profilu ze dvou paralelních hraničních vedení z napěťové hladiny 400 kV a ze dvou paralelních hraničních vedení z napěťové hladiny 220 kV pouze jedno vedení z napěťové hladiny 220 kV. Z tohoto užšího výběru se porovnají a graficky zobrazí průběhy skutečného přenášeného výkonu i přenášeného výkonu v absolutní hodnotě z důvodů snadnějšího porovnání průběhu v závislosti na přirozeném výkonu. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu 220 kV a roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat mezi jednotlivými průběhy. Pro napěťovou hladinu 220 kV jsem vybral vedení V243 z české rozvodny Sokolnice do rakouské rozvodny Bisamberg.

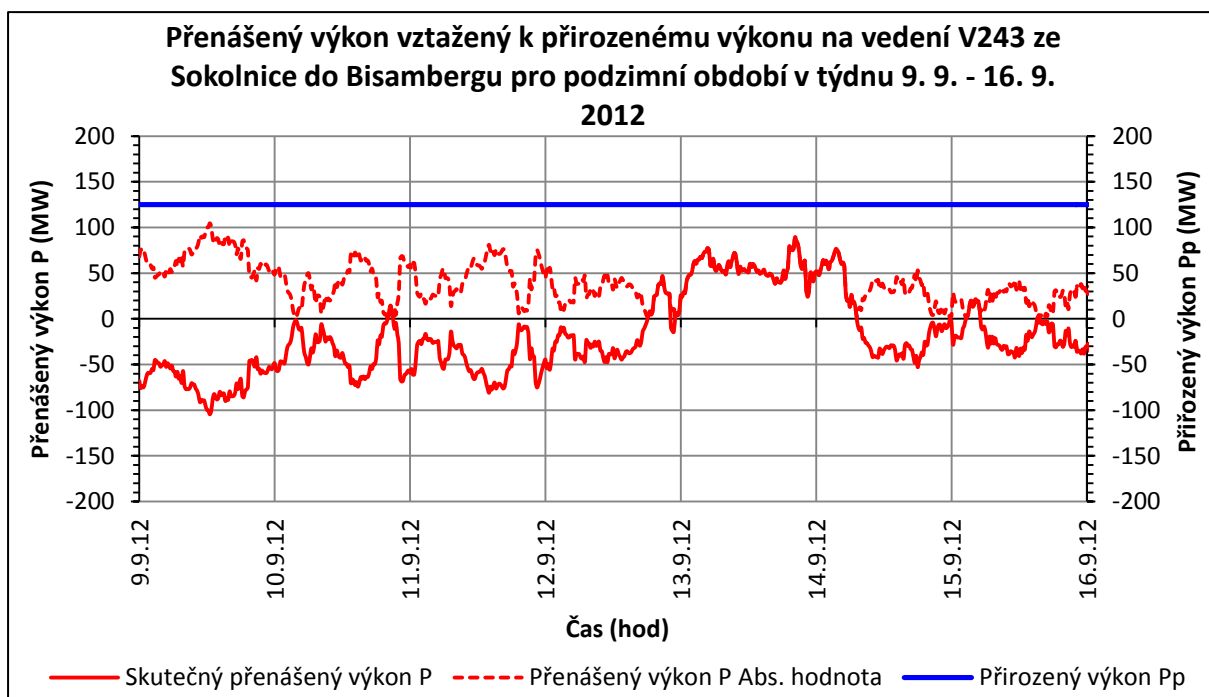
Hraniční vedení V243 – napěťová hladina 220 kV

Letní období – týdenní data



Graf 4.44 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.45 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Rakouska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.46 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Rakouska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vypracování grafů pro toto vedení v daných třech ročních obdobích ve vybraném týdnu, pro rakouský profil napětové hladiny 220 kV můžeme zpozorovat, že přenášený výkon nepřekročil hranici přirozeného výkonu na vedení, která byla na hodnotě 125 MW. V letním období si lze povšimnout, že skutečný přenášený výkon na vedení V243 se pohyboval v záporných hodnotách, což znamená, že výkon tekł z České republiky do Rakouska a v podzimním a zimním období se skutečný přenášený výkon na tomto vedení pohyboval jak v záporných hodnotách tak i kladných hodnot, což znamená, že výkon tekł v záporných hodnotách z České republiky do Rakouska a v daném okamžiku, kdy výkon dosáhl kladných hodnot, tak tekł z Rakouska do České republiky. Jen pro srovnání přenášeného výkonu s přirozeným výkonem jsou použity hodnoty přenášeného výkonu v absolutní hodnotě. Největší přenášený výkon byl v letním období, kdy dosáhl hodnoty -115 MW a tím se jen přiblížil hranici přirozeného výkonu. V tomto období se přenášený výkon přenášel nejstabilněji, sice se měnil v rozmezí hodnot, ale ne tak efektivně, jak v ostatních obdobích. V podzimním a zimním období se skutečný přenášený výkon nabýval záporných i kladných hodnot. Největší přenášený výkon byl v zimním období, kde dosáhl záporné hodnoty -110 MW a největší kladné hodnoty 78 MW. Pro podzimní období nabýval svých maximálních hodnot přenášeného výkonu pro zápornou hodnotu -105 MW a pro kladnou hodnotu 89 MW.

4.6.3 Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro slovenský profil

V této podkapitole jsem si vybral ze slovenského profilu jedno vedení, které se skládá ze tří hraničních vedení z napětové hladiny 400 kV a ze dvou hraničních vedení z napětové hladiny 220 kV. Vybrané vedení jsem zvolil z napětové hladiny 400 kV. Z tohoto užšího výběru se porovnají a graficky zobrazí průběhy skutečného přenášeného výkonu i přenášeného výkonu v absolutní hodnotě z důvodů snadnějšího porovnání průběhu v závislosti na přirozeném výkonu. Proto budou jednotlivé průběhy pro napětovou hladinu 400 kV a roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat mezi jednotlivými průběhy. Pro napětovou hladinu 400 kV jsem vybral vedení V424 z české rozvodny Sokolnice do slovenské rozvodny Križovany.

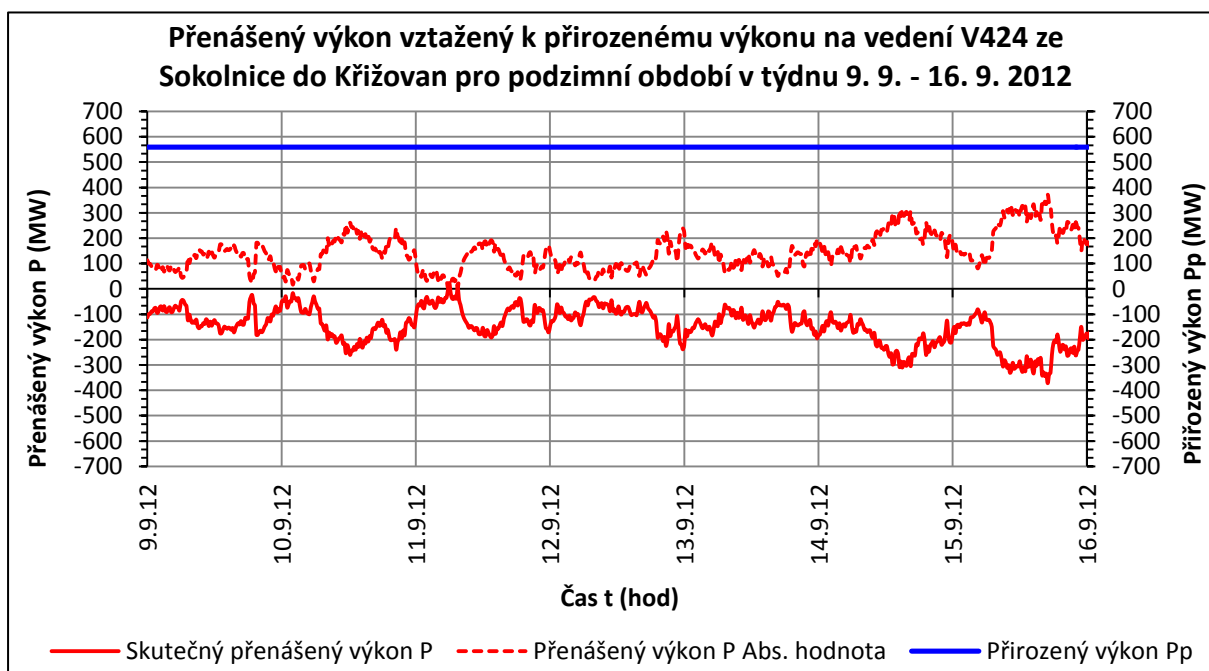
Hraniční vedení V424 – napět'ová hladina 400 kV

Letní období – týdenní data



Graf 4.47 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.48 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.49 – Průběh přenášeného výkonu vztahen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vypracování grafů pro toto vedení v daných třech ročních obdobích ve vybraném týdnu, pro slovenský profil napěťové hladiny 400 kV lze konstatovat, že přenášený výkon na vedení nedosáhl hranici přirozeného výkonu, která se pohybovala na hodnotě 559 MW. V letním i podzimním období se skutečný přenášený výkon na vedení V442 pohyboval v záporných hodnotách, což znamená, že přenášený výkon tek l z České republiky na Slovensko a v zimním období se skutečný přenášený výkon na tomto vedení pohyboval z větší části v záporných hodnotách, tak i nabýval kladných hodnot, v určitých dnech, což znamená, že výkon tek l v záporných hodnotách z České republiky na Slovensko, jak v předešlých dvou obdobích, tak v daném okamžiku, kdy výkon dosáhl kladných hodnot, tek l ze Slovenska do České republiky. Jen pro srovnání přenášeného výkonu s přirozeným výkonem jsou použity hodnoty přenášeného výkonu v absolutní hodnotě. Největší přenášený výkon byl v zimním období, kde skutečný přenášený výkon nabýval záporných i kladných hodnot. V záporné hodnotě to bylo -405 MW a v kladné hodnotě 64 MW. Pro podzimní období nabýval svých maximálních hodnot přenášeného výkonu pro zápornou hodnotu -340 MW. V posledním letním období, dosáhl skutečný přenášený výkon hodnoty -390 MW. V tomto období se přenášený výkon přenášel nejstabilněji, sice se měnil v rozmezí hodnot, ale ne tak výrazně, jak v podzimním a zimním období.

4.6.4 Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na vybraném hraničním vedení pro polský profil

V této podkapitole jsem si vybral z polského profilu jedno vedení, které je vybráno ze dvou hraničních vedení z napěťové hladiny 400 kV a ze dvou hraničních vedení z napěťové hladiny 220 kV. Vybrané vedení jsem zvolil po napěťovou hladinu 220 kV. Z tohoto užšího výběru se porovnají a graficky zobrazí průběhy skutečného přenášeného výkonu i přenášeného výkonu v absolutní hodnotě z důvodů snadnějšího porovnání průběhu v závislosti na přirozeném výkonu. Proto budou jednotlivé průběhy pro napěťovou hladinu 220 kV a roční období vloženy pod sebou, aby se mohly porovnat mezi jednotlivými průběhy. Pro napěťovou hladinu 220 kV jsem vybral vedení V246 z české rozvodny Lískovec do polské rozvodny Kopanina.

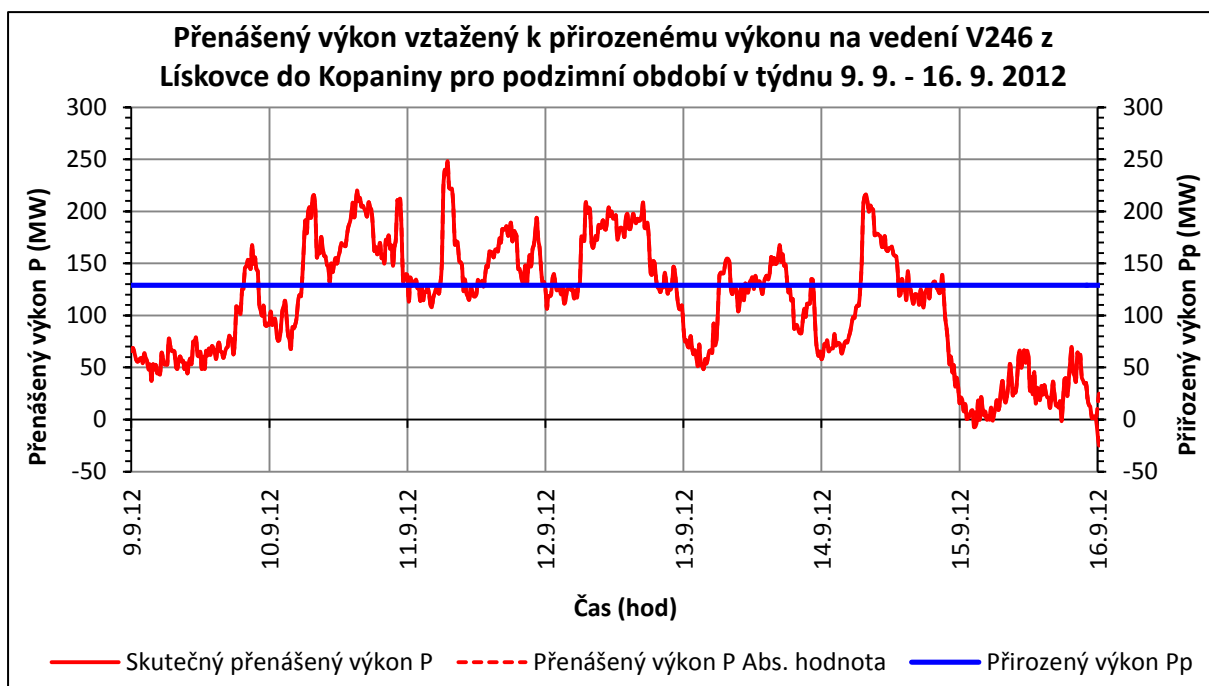
Hraniční vedení V246 – napěťová hladina 220 kV

Letní období – týdenní data



Graf 4.50 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 4.51 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 4.52 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012

Při vypracování grafů pro toto vedení v daných třech ročních obdobích ve vybraném týdnu, pro polský profil napěťové hladiny 200 kV můžu říct, že přenášený výkon na vedení překročil hranici přirozeného výkonu, ve všech ročních obdobích, která se pohybovala na hodnotě 129 MW. V letním i podzimním období se skutečný přenášený výkon na vedení V246 pohyboval z největší části v kladných hodnotách, tak i minimálně nabýval záporných hodnot v určitých dnech, což znamená, že výkon tekł v kladných hodnotách z Polska do České republiky, tak v daném okamžiku, kdy výkon dosáhl záporných hodnot, tekł z České republiky do Polska a v zimním období se skutečný přenášený výkon na tomto vedení pohyboval pouze v kladných hodnotách, kdy výkon tekł z Polska do České republiky. Nyní se průběhy skutečného přenášeného výkonu a přenášeného výkonu překrývají. Největší přenášený výkon byl v zimním období, kde se skutečný přenášený výkon pohyboval v rozmezí hodnot od 65 MW do 280 MW. Pro podzimní období se přenášený výkon pohyboval v rozmezí od své maximální hodnoty výkonu -7 MW do své maximální kladné hodnoty 250 MW V posledním letním období, dosáhl skutečný přenášený výkon opět pro zápornou část výkonu hodnoty -31 MW a pro maximální kladnou hodnotu 215 MW.

5 Analýza podílu technických ztrát hraničních vedení přenosové soustavy s ohledem na přenosy výkonů

Jak už minulá kapitola týkající se Jouleových ztrát naznačila, tak ztráty vznikají na všech vedeních a největší podíl Jouleových ztrát mají v přenosové soustavě vedení na hladině napětí 400 kV a na hladině napětí 220 kV, z důvodů přenášení velkých výkonů, ale i parametrů vedení. Proto se v této kapitole zaměřím na podíl technických ztrát na hraničních vedeních pro jednotlivé vedení v zahraničí, tak i podíl celkových technických ztrát na jednotlivých zahraničních profilech. Pro tuto analýzu jsem potřeboval údaje od společnosti ČEPS, a.s. hlavně data o technických ztrátách na všech vedeních a celkových technických ztrátách, které zahrnují ztráty na vedení a ztráty na transformátorech. Tyto údaje jsem získal z řídicího systému dispečinku v Ostravě.

Dále pro analýzu podílu ztrát vůči ztrátám ČEPS, a.s. jsem vypracovával ve třech ročních obdobích (léto, podzim, zima). Data pro letní období byla z měsíce července z dnů 4. 7., 6. 7., 8. 7. a 10. 7. 2012. V podzimním období byly vybrané data z měsíce září a to z dnů 10. 9., 12. 9., 14. 9. a 16. 9. 2012. a posledním zimním období byl zvolen měsíc prosinec a dny 7. 12., 9. 12., 11. 12. a 13. 12. 2012. Pro tyto jednotlivé vybrané dny jsem zvolil jeden časový okamžik, pro který se budou ztráty analyzovat a to k půlnoci vybraného dne.

5.1 Průběh naměřených technických ztrát ze společnosti ČEPS, a.s.

V této kapitole jsem uváděl skutečné naměřené technické ztráty společnosti ČEPS, a.s., které byly naměřeny řídicím systémem energetického dispečinku v Ostravě. Tyto naměřené hodnoty celkových technických ztrát, dále technických ztrát na vedeních jsem zobrazil do grafu. Celkové technické ztráty zahrnují ztráty na vedeních i ztráty na transformátorech celé přenosové soustavy napěťových hladin vedení 400 kV a 220 kV. Jelikož se tato kapitola zabývá podílem ztrát na hraničních vedeních, proto jsem pro vyhodnocování podílu Jouleových ztrát používal data z technických ztrát na vedeních, které byly naměřeny v ČEPS, a.s. Dále v této kapitole budou zobrazeny grafické průběhy technických ztrát s týdenními vzorky pro letní, podzimní a zimní období, aby bylo zřejmé, jak se mění s daným ročním obdobím. Pro letní období budou data z týdne 3. 7. – 10. 7. 2012, pro podzimní období z týdne 9. 9. – 16. 9. 2012 a pro zimní období z týdne 6. 12. – 13. 12. 2012. Mezi jednotlivými

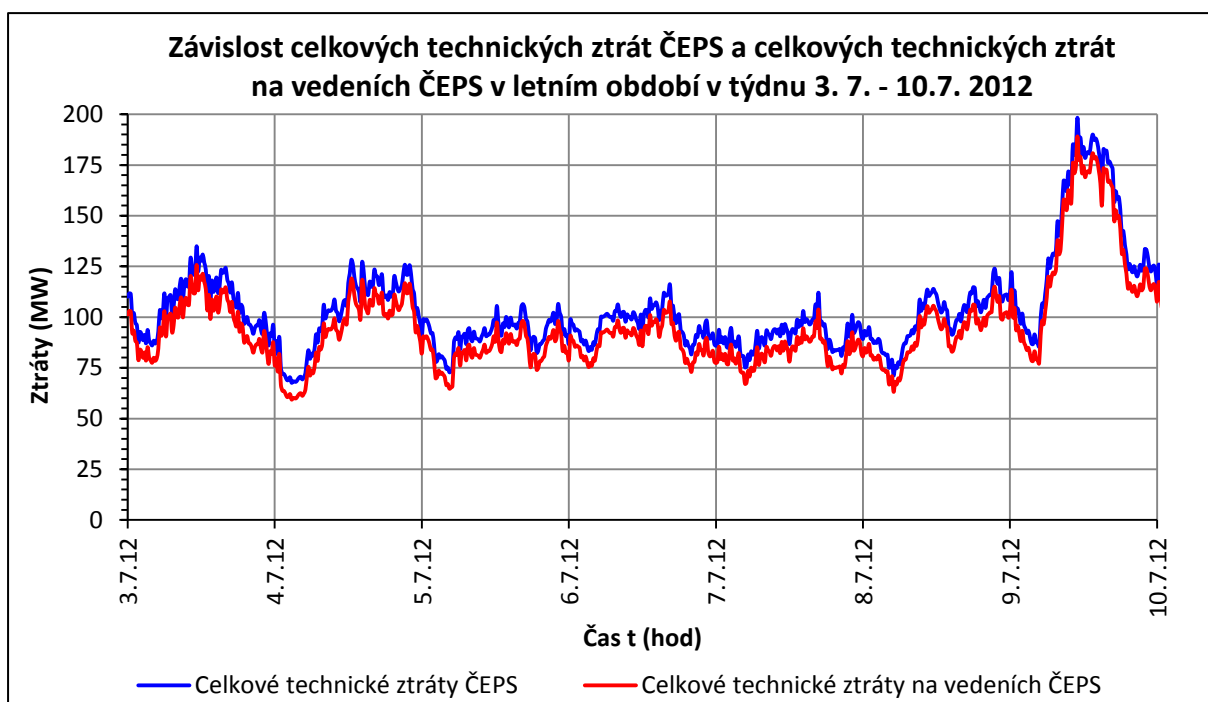
průběhy, které budou tvořeny celkovými technickými ztrátami i technickými ztrátami na vedeních, lze vyčíslit, jakou část zaujímají ztráty na transformátorech. Bude to rozdíl mezi jednotlivými technickými ztrátami.

Pro ukázkou naměřených dat z energetického dispečinku jsem vložil *tabulku 5.1*, ve které jsou naměřené údaje z letního období z týdne 3. 7. – 10. 7. 2012 o celkových technických ztrátách, technických ztrátách na vedeních a ztrát na transformátorech přenosové soustavy České republiky. Dále v *tabulce 5.1* jsem vyznačil maximální dosaženou hodnotu technických ztrát.

Tab. 5.1 – Ukázka naměřených technických ztrát v přenosové soustavě společnosti ČEPS, a.s.
[9]

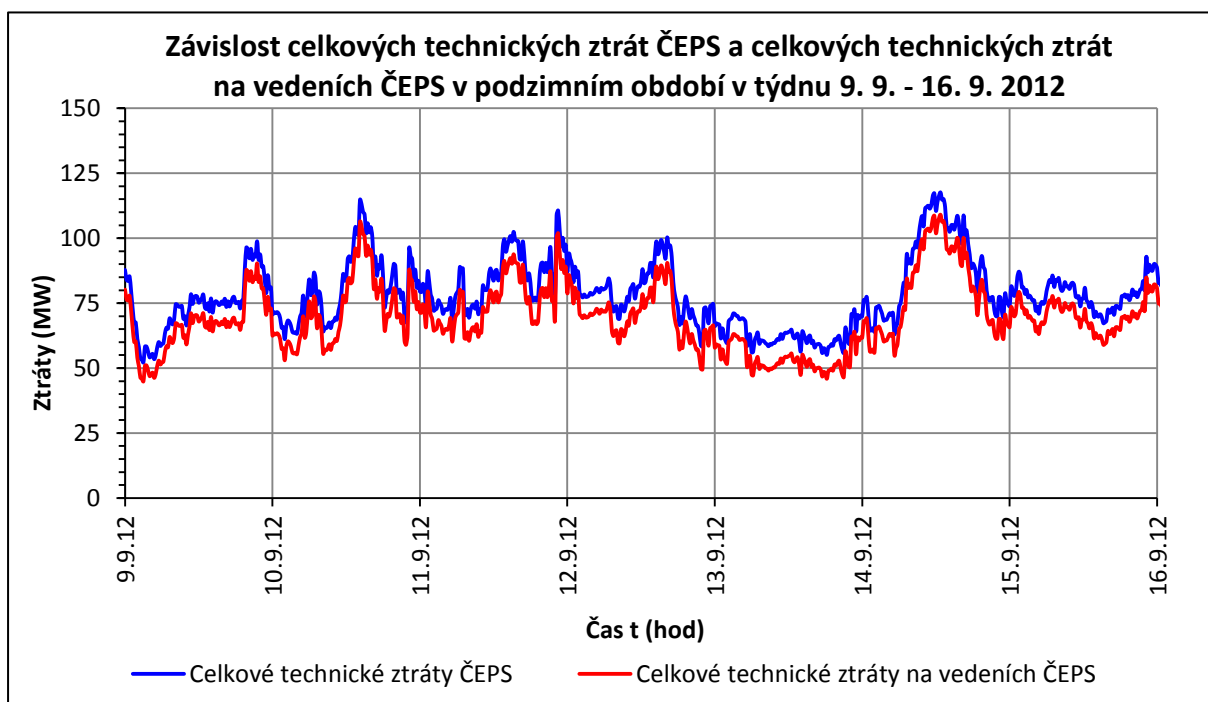
Datum a čas	Celkové naměřené technické ztráty ČEPS, a.s.	Naměřené technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s.	Technické ztráty na transformátorech ČEPS, a.s.
(hod)	(MW)	(MW)	(MW)
9.7.12 8:15	142,79	133,36	9,43
9.7.12 8:30	154,55	145,24	9,31
9.7.12 8:45	167,28	157,90	9,38
9.7.12 9:00	166,88	157,65	9,23
9.7.12 9:15	162,07	152,77	9,30
9.7.12 9:30	171,70	162,47	9,23
9.7.12 9:45	171,02	161,79	9,23
9.7.12 10:00	165,42	156,31	9,11
9.7.12 10:15	184,78	175,73	9,05
9.7.12 10:30	179,97	170,91	9,06
9.7.12 10:45	183,36	174,12	9,24
9.7.12 11:00	198,31	189,12	9,19
9.7.12 11:15	186,83	177,56	9,27
9.7.12 11:30	188,48	179,09	9,39

Letní období – týdenní data



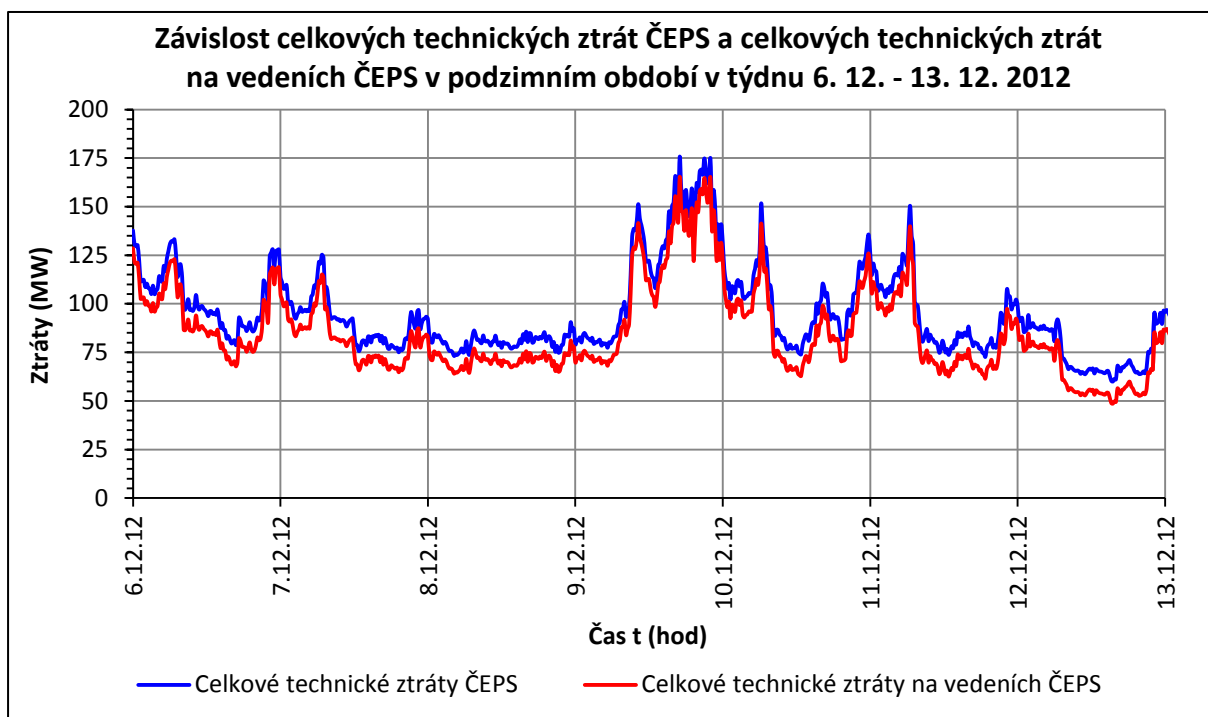
Graf 5.1 – Průběh naměřených technických ztrát na dispečinku ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.2 – Průběh naměřených technických ztrát na dispečinku ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 5.3 – Průběh naměřených technických ztrát na dispečinku ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

Pro vyhodnocení průběhů pro tři vybrané roční období ve vybraných týdnech lze pozorovat, že technické ztráty byly v letním období největší, kde dosahovaly hodnot až 200 MW, ovšem tato hodnota je pouze špičková, tedy celkové technické ztráty se pohybovaly v létě v rozmezí od 60 MW do 125 MW. V zimním období celkové technické ztráty dosahovaly značných hodnot, kdy maximální hodnota dosáhla hodnoty 175 MW, tato hodnota byla špičková. V tomto období se ztráty pohybovaly v hodnotě od 56 MW do 150 MW. V posledním podzimním období byly technické ztráty nejmenší z vybraných období, zde se ztráty pohybovaly od 54 MW do maximální hodnoty 116 MW. Jak bylo zmíněno, celkové technické ztráty obsahují ztráty na vedeních a ztráty na transformátorech přenosové soustavy České republiky. V grafech jsou vyobrazeny průběhy celkových technických ztrát a technických ztrát na vedeních a rozdíl mezi těmito ztráty jsou ztráty na transformátorech v přenosové soustavě. V letním období se ztráty na transformátorech pohybovaly od 8,66 MW až do 9,76 MW, pro podzimní období se pohybovaly od 7,09 MW až do 9,84 MW. V posledním zimním období se pohybovaly ztráty na transformátorech od 8,93 MW až do hodnoty 11,67 MW.

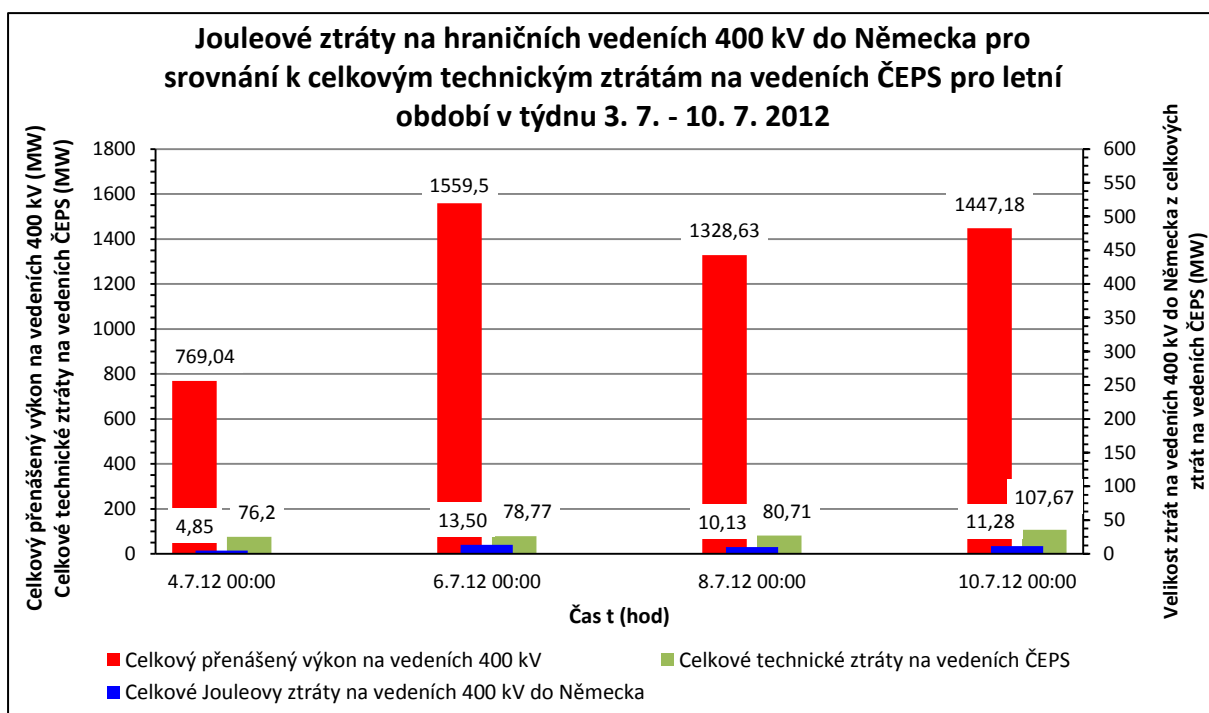
5.2 Podíl Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničních vedeních 400 kV k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s.

V této kapitole se bude uvádět velikost Jouleových ztrát pro napětíovou hladinu 400 kV vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. přenosové soustavy pro jednotlivé sousední státy. Jak už samotný název kapitoly napovídá, tak jsem pro jednotlivé zahraniční státy porovnal celkové Jouleovy ztráty s přenášeným výkonem k technickým ztrátám na všech vedeních ČEPS, a.s. přenosové soustavy. Toto porovnání jsem prováděl pro jednotlivé roční období s týdenními vzorky. Pro letní období byla vybrána data z měsíce července z dnů 4. 7., 6. 7., 8. 7. a 10. 7. 2012. V podzimní období byla vybraná data z měsíce září z dnů 10. 9., 12. 9., 14. 9. a 16. 9. 2012. a posledním zimním obdobím byl zvolen měsíc prosinec s vybranými dny 7. 12., 9. 12., 11. 12. a 13. 12. 2012. V této kapitole byly vybrány státy Německo, Rakousko, Slovensko a Polsko.

5.2.1 Podíl technických ztrát na hraničních vedeních německého profilu

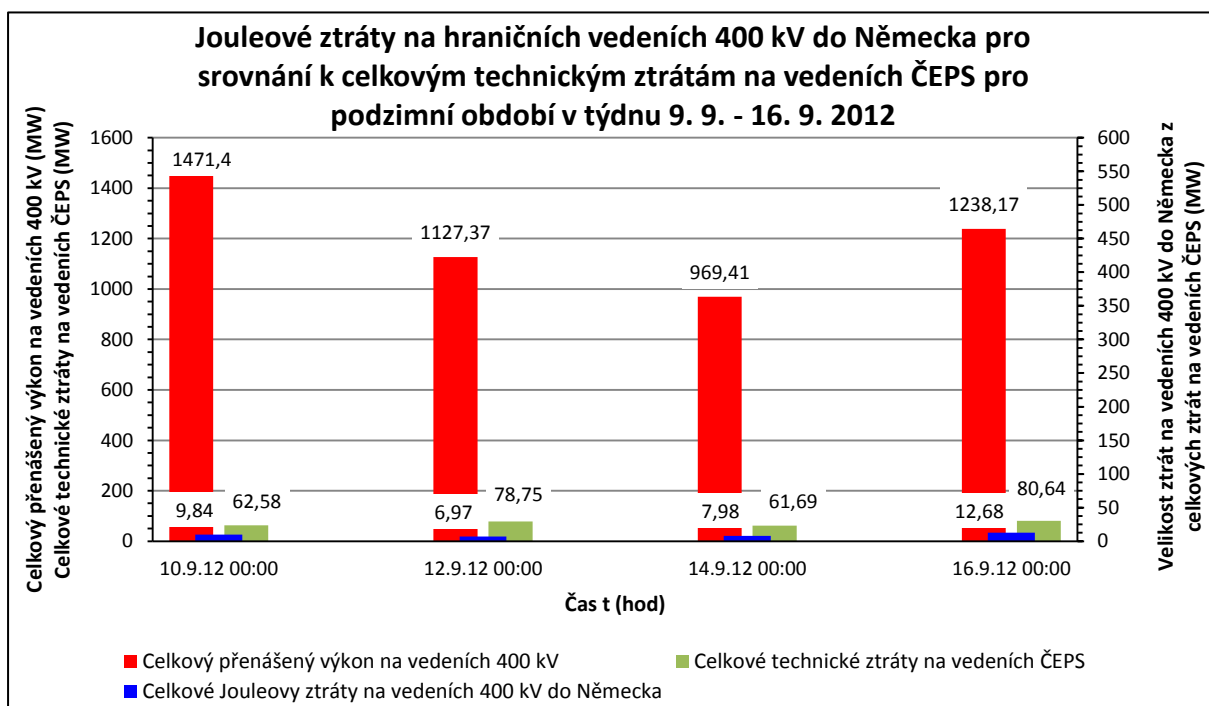
V této podkapitole jsem zhodnotil podíl Jouleových ztrát všech hraničních vedení pro napětíovou hladinu 400 kV do německého profilu a přenášeného výkonu k celkovým technickým ztrátám na vedeních přenosové soustavy ČEPS, a.s. Mezi celkové hraniční vedení pro německý profil napětíové hladiny 400 kV patří čtyři vedení. Tyto vedení jsou dvě paralelní vedení V445 a V446 z Hradce – západu do Röhrsdorfu, dále vedení V441 z Hradce – východu do Etzenrichtu a vedení V442 z Přeštice do Etzenrichtu. Pro tuto podkapitolu jsem přenášené výkony použil v absolutní hodnotě na jednotlivých vedeních, kde jsem je sečetl a porovnal s Jouleovými ztrátami a celkovými naměřenými technickými ztrátami na vedeních ČEPS, a.s. Pro porovnání jsem používal již vybrané dny v jednotlivých ročních obdobích, které jsem vztahoval k půlnoci vybraného dne.

Letní období – týdenní data



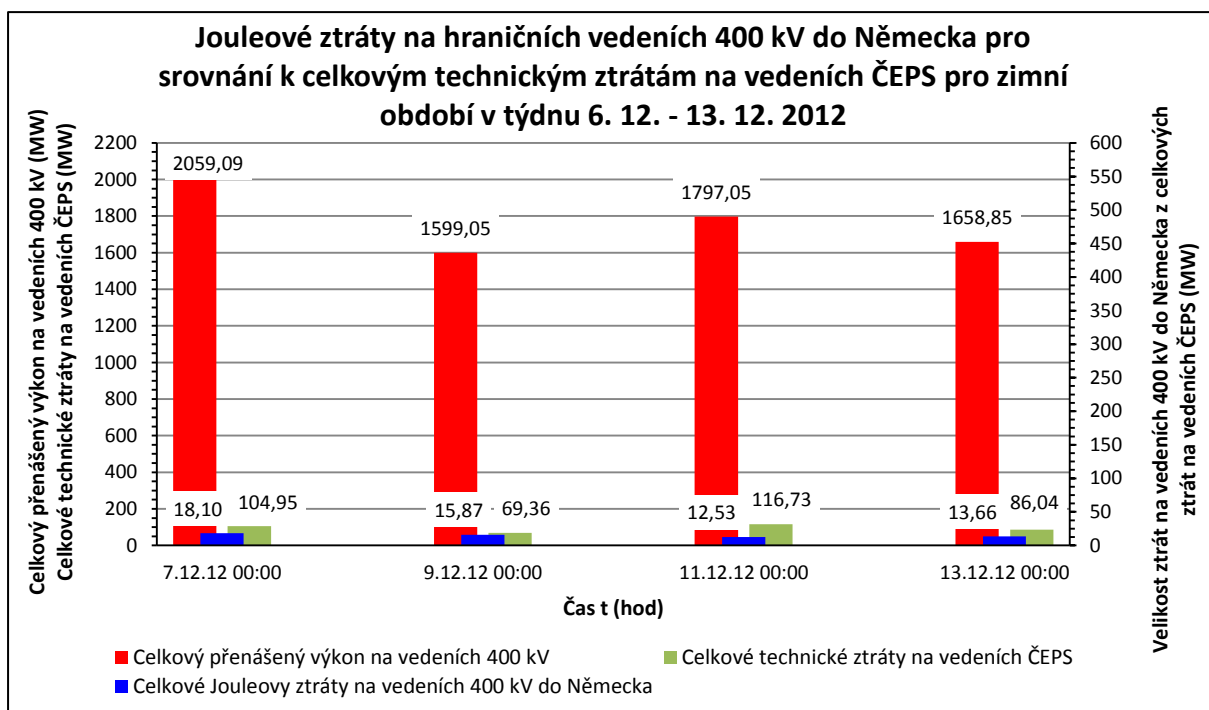
Graf 5.4 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Německa k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.5 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Německa k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 5.6 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Německa k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

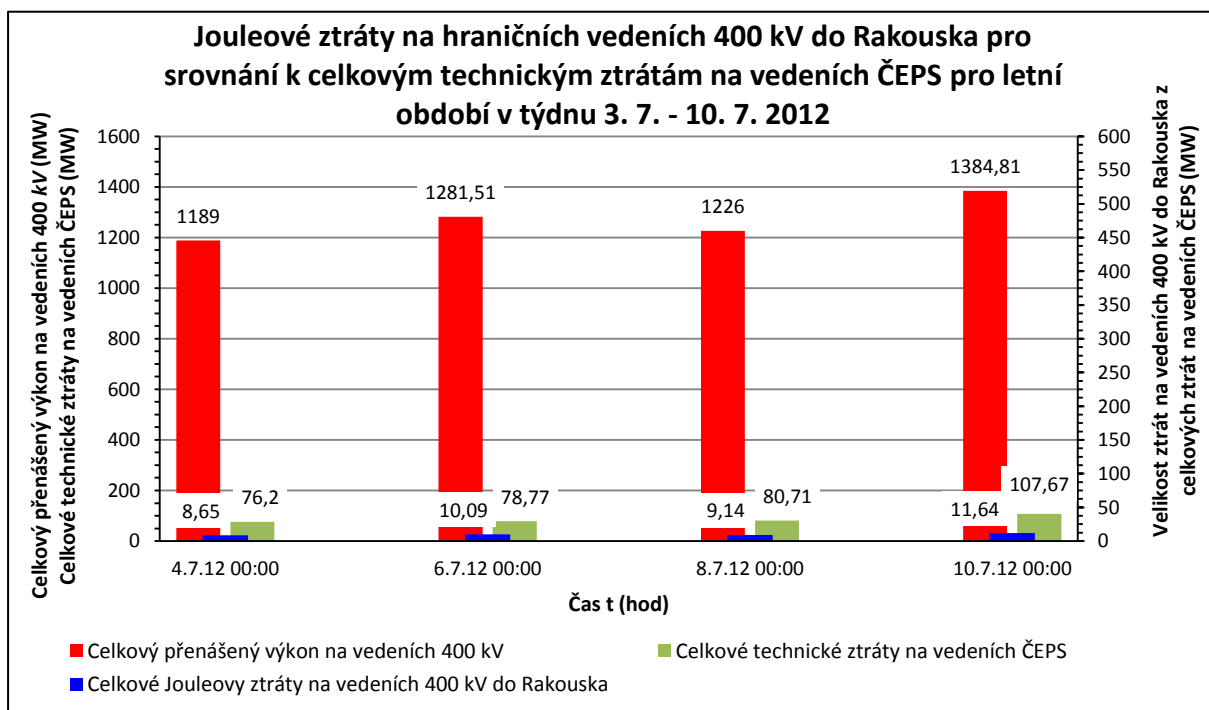
Při zhodnocení výsledů Jouleových ztrát na všech vedeních 400 kV pro německý profil k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. lze upozorovat, že největší hodnoty byly pro vybrané dny v zimním období. Přenášený výkon se blížili k hodnotě 2 GW a technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. jsou v porovnání s přenášeným výkonem minimální. Pro porovnání třeba pro zimní období se přenášený výkon ve dni 7. 12. 2012 k půlnoci pohyboval na hodnotě 2059,09 MW, při tomto výkonu technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly v porovnání jen 104,95 MW a celkové Jouleové ztráty na vedeních 400 kV do Německa byly 18,1 MW. Tudiž Jouleovy ztráty na hraničních vedeních 400 kV pro německý profil v porovnání se technickými ztrátami na vedeních v přenosové soustavě jsou minimální. Pro den 9. 12. 2012 k půlnoci byl přenášený výkon 1599,05 MW, z toho ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly 69,36 MW a celkové Jouleovy ztráty 15,87 MW. Pro další den 11. 12. 2012 o půlnoci se pohyboval přenášený výkon 1797,05 MW, technické ztráty na vedeních tvořily v tomto dnu 116,73 MW a celkové Jouleovy ztráty byly jen 12,53 MW. V posledním dnu z vybraného týdne 13. 12. 2012 v půlnoci byl přenášený výkon 1658,85 MW, technické ztráty nabývaly hodnoty 86,04 MW a celkové Jouleovy ztráty na vedeních do Německa pro hladinu napětí 400 kV byly 13,68 MW. Pro další roční období se přenášený výkon pohyboval na menší

hodnotě a celkové Jouleovy ztráty vůči technickým ztrátám ČEPS, a.s. byly taky menší. Pro letní období byly Jouleovy ztráty v rozmezí od 4,85 MW do 13,5 MW a pro podzimní období byly od hodnoty 6,97 MW až 12,68 MW.

5.2.2 Podíl technických ztrát na hraničních vedeních rakouského profilu

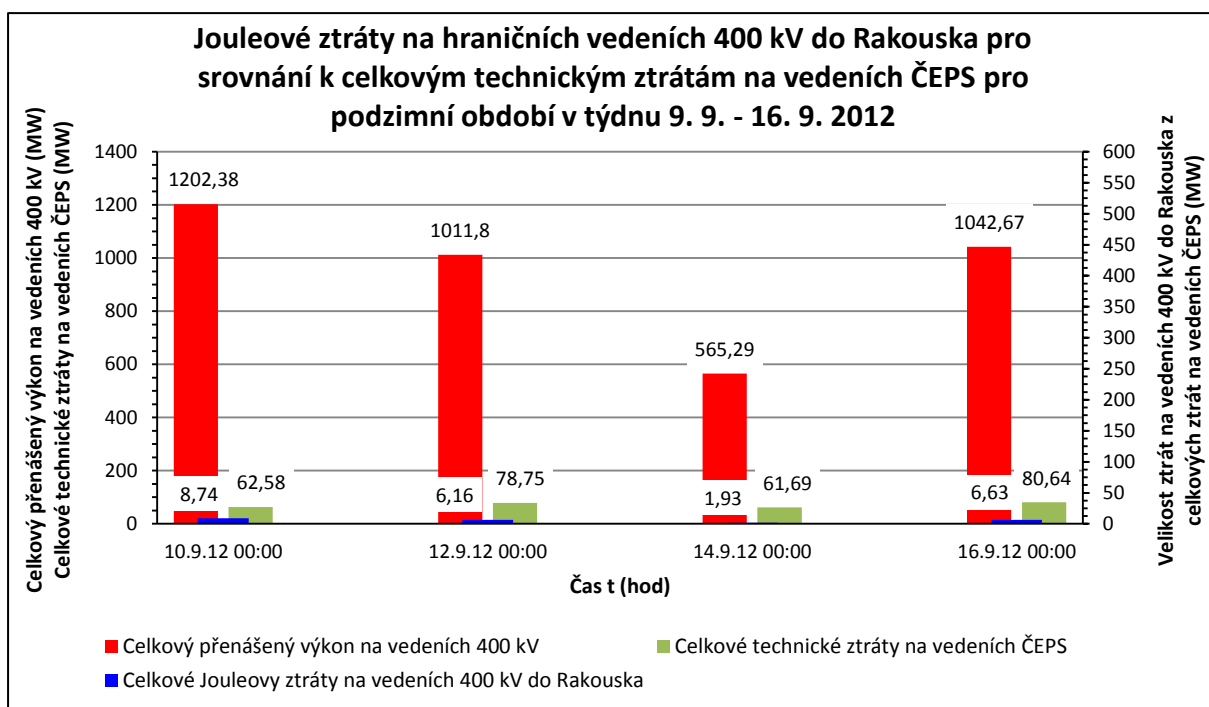
V této podkapitole jsem zhodnotil podíl Jouleových ztrát všech hraničních vedení pro napěťovou hladinu 400 kV do rakouského profilu a přenášeného výkonu k celkovým technickým ztrátám na vedeních přenosové soustavy ČEPS, a.s. Mezi celkové hraniční vedení pro rakouský profil napěťové hladiny 400 kV patří dvě vedení. Tyto vedení jsou dvě paralelní vedení V437 a V438 ze Slavětic do Dürnhrohu. Pro tuto podkapitolu jsem přenášené výkony použil v absolutní hodnotě na jednotlivých vedeních, kde jsem je sečetl a porovnal s celkovými Jouleovými ztráty na těchto vedeních a celkovými naměřenými technickými ztráty na vedeních ČEPS, a.s. Pro porovnání jsem používal již vybrané dny v jednotlivých ročních obdobích, které jsem vztahoval k půlnoci vybraného dne.

Letní období – týdenní data



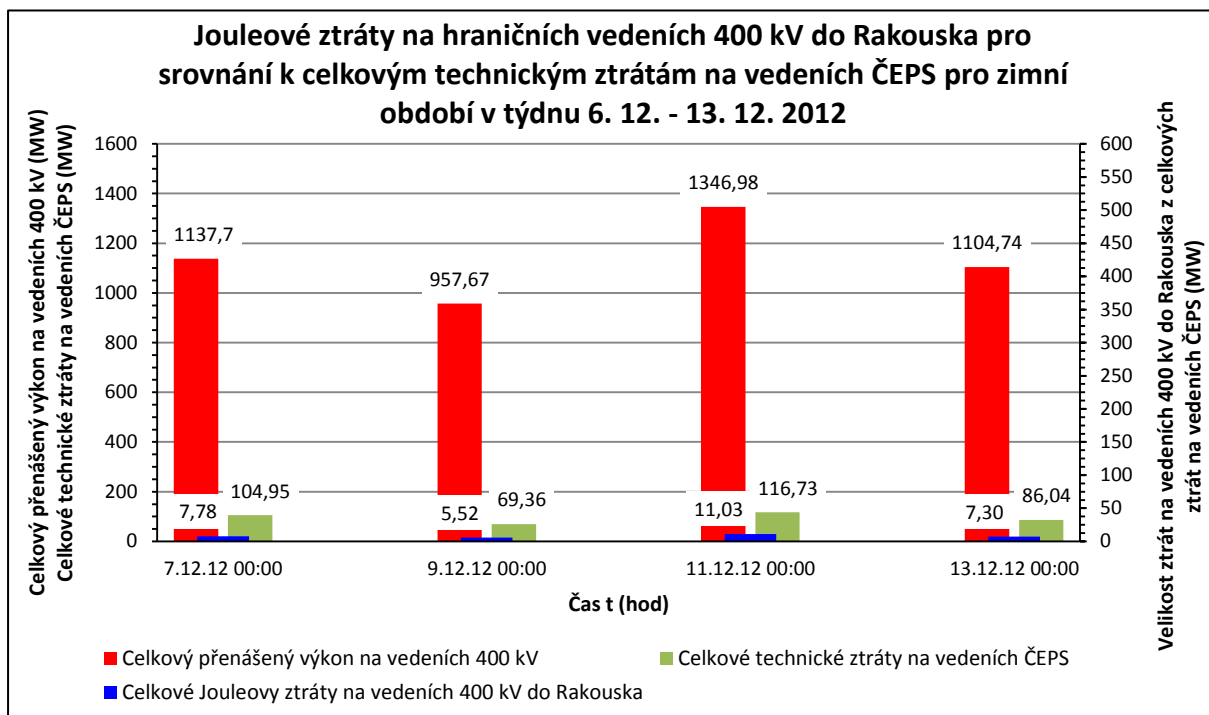
Graf 5.7 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.8 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



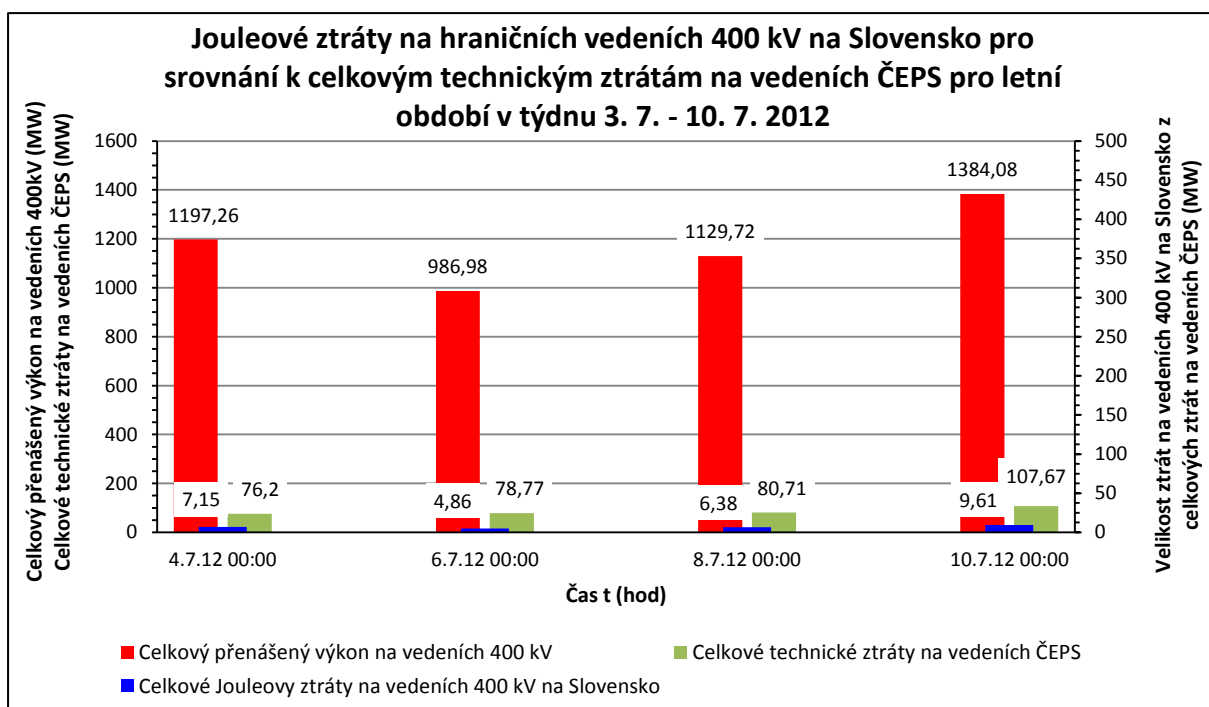
Graf 5.9 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

Při zhodnocení výsledů Jouleových ztrát na všech vedeních 400 kV pro německý profil k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. lze říct, že největší hodnoty byly pro vybrané dny v letním období. Přenášený výkon se blížili k hodnotě 1,3 GW a technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. jsou v porovnání s výkonem minimální. Pro porovnání třeba pro letní období se přenášený výkon ve dni 4. 7. 2012 k půlnoci pohyboval na hodnotě 1189 MW, z toho technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly jen 76,2 MW a celkové Jouleové ztráty na vedeních 400 kV do Rakouska byly jen 8,65 MW. Tudíž Jouleovy ztráty na hraničních vedeních 400 kV pro rakouský profil v porovnání vůči technickým ztrátám na vedeních v přenosové soustavě jsou minimální. Pro den 6. 7. 2012 k půlnoci byl přenášený výkon na dvou rakouských linkách V437 a V438 1281,51 MW, z toho ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly 78,77 MW a celkové Jouleovy ztráty byly vyšší 10,09 MW. Pro další den 8. 7. 2012 o půlnoci se pohyboval přenášený výkon na linkách 1226 MW, technické ztráty na vedeních tvořily v tomto dnu 80,71 MW a celkové Jouleovy ztráty byly jen 9,14 MW. V posledním z vybraných dnů z vybraného týdne dne 10. 7. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon 1384,81 MW, technické ztráty se pohybovaly na hodnotě 107,67 MW a celkové Jouleovy ztráty na vedeních do Rakouska pro hladinu napětí 400 kV byly opět 11,64 MW. Pro podzimní a zimní roční období se přenášený výkon pohyboval na menší hodnotě, a celkové Jouleovy ztráty vůči technickým ztrátám ČEPS, a.s. byly také menší. Pro podzimní období byly Jouleovy ztráty v rozmezí od 1,93 MW do 8,74 MW a pro zimní období byly od hodnoty 5,52 MW až 11,03 MW.

5.2.3 Podíl technických ztrát na hraničních vedeních slovenského profilu

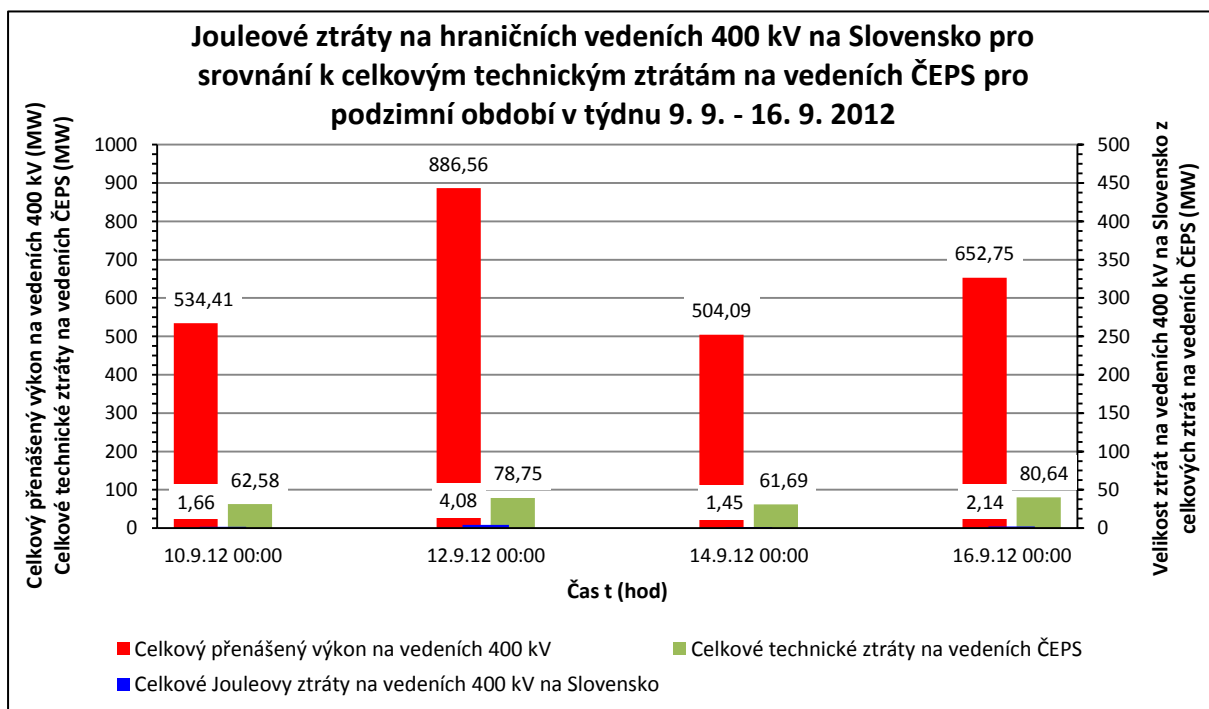
V této podkapitole jsem zhodnotil podíl Jouleových ztrát všech hraničních vedení pro napěťovou hladinu 400 kV pro slovenský profil a také přenášeného výkonu k celkovým technickým ztrátám na vedeních přenosové soustavy ČEPS, a.s. Mezi celkové hraniční vedení na slovenském profilu napěťové hladiny 400 kV patří tři vedení. Tyto vedení jsou dvě z rozvodny Sokolnice V424 a V497 do Křižovan a Stupavy. Třetí vedení V404 z Nošovic do Stupavy. Pro tuto podkapitolu jsem přenášené výkony použil v absolutní hodnotě na jednotlivých vedeních, kde jsem je sečetl a porovnal s celkovými Jouleovými ztráty na těchto vedeních a celkovými naměřenými technickými ztráty na vedeních ČEPS, a.s. Pro porovnání jsem používal již vybrané dny v jednotlivých ročních obdobích, které jsem vztahoval k půlnoci vybraného dne.

Letní období – týdenní data



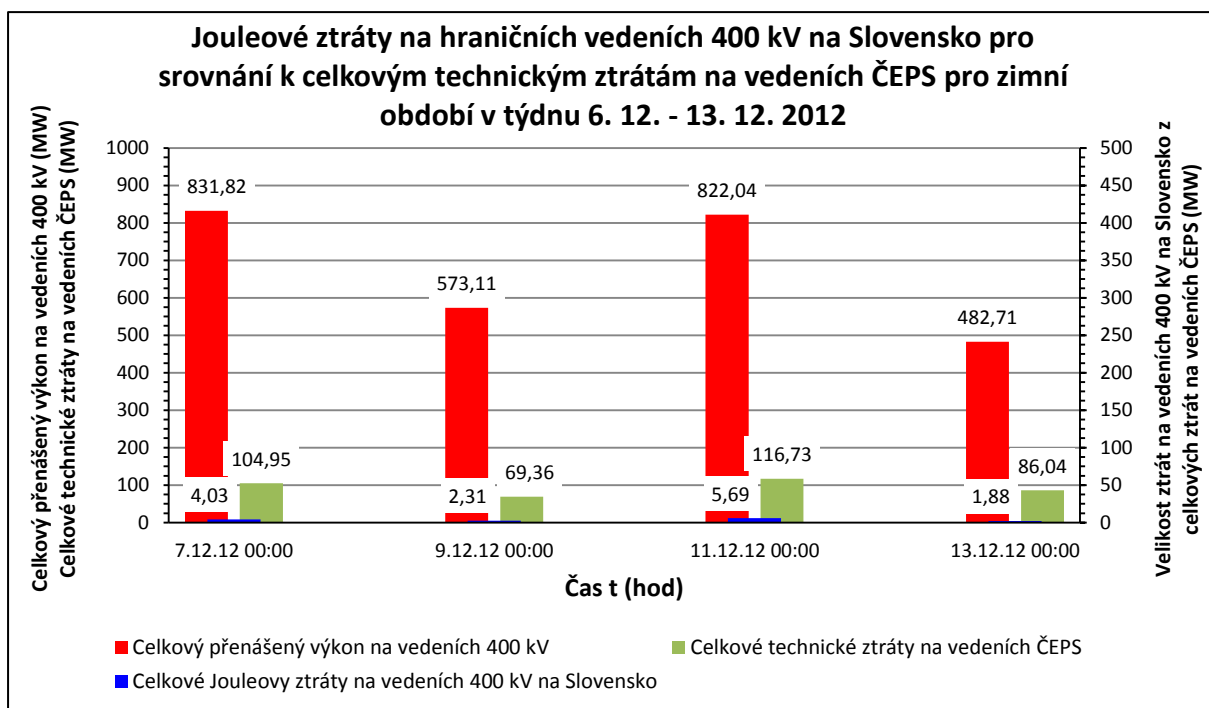
Graf 5.10 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.11 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 5.12 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

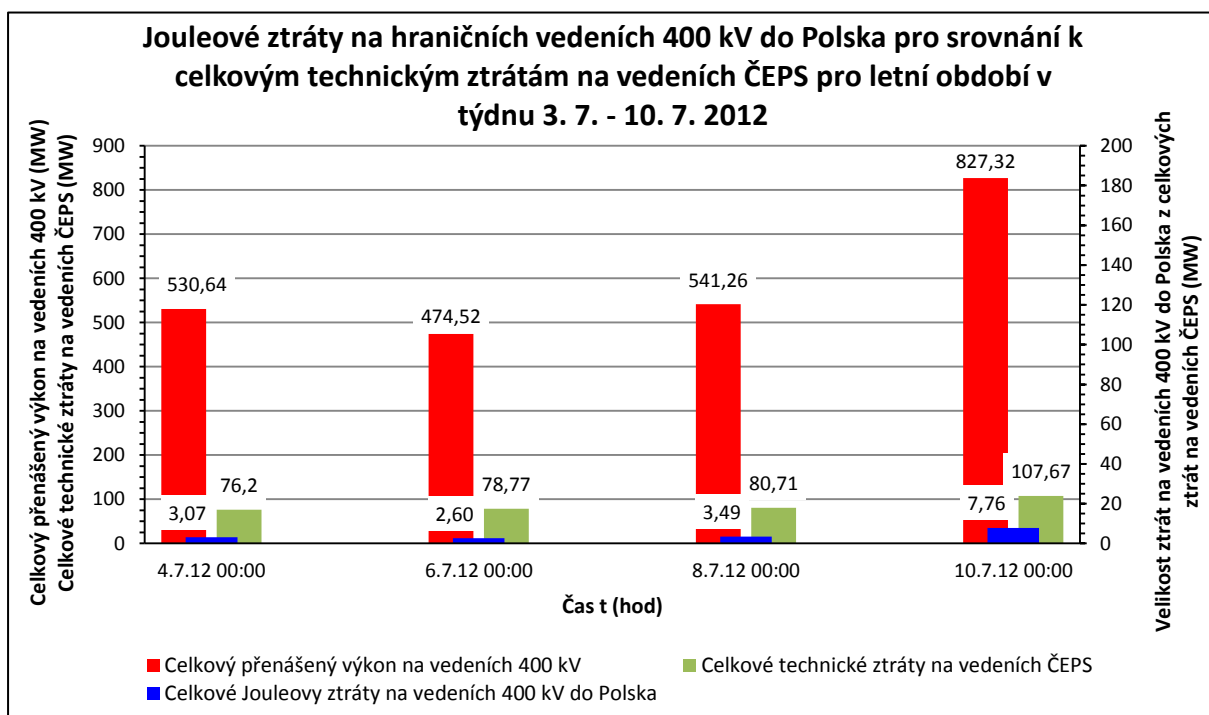
Při zhodnocení výsledů Jouleových ztrát na všech vedeních 400 kV pro slovenský profil k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. lze říct, že největší hodnoty byly pro vybrané dny v letním období. Přenášený výkon se blížil k hodnotě 1,1 GW, v některých dnech tuto hodnotu překročil a byl vyšší. Technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. jsou v porovnání s přenášeným výkonem velmi malé. Pro porovnání jsem vybral letní období, kde se přenášený výkon ve dni 4. 7. 2012 k půlnoci pohyboval na hodnotě 1197,26 MW, z toho technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly jen 76,2 MW a celkové Jouleové ztráty na vedeních 400 kV na Slovensko byly jen 7,15 MW. Jouleovy ztráty na hraničních vedeních 400 kV slovenského profilu byly porovnání vůči technickým ztrátám na vedeních v přenosové soustavě minimální. Pro den 6. 7. 2012 k půlnoci byl přenášený výkon na třech vedeních na Slovensko 986,98 MW, z toho ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly 78,77 MW a celkové Jouleovy ztráty pouze 4,86 MW. Pro další z vybraných dnů a to 8. 7. 2012 o půlnoci se pohyboval přenášený výkon na všech vedeních 1129,72 MW, technické ztráty na vedeních tvořily v tomto dnu 80,71 MW a celkové Jouleovy ztráty byly jen 6,38 MW. V posledním z vybraných dnů a to dne 10. 7. 2012 v půlnoci byl přenášený výkon 1384,08 MW, technické ztráty se pohybovaly na hodnotě 107,67 MW a celkové Jouleovy ztráty na vedeních 400 kV na Slovensko byly zase jen 9,61

MW. Pro ostatní roční období se přenášený výkon pohyboval na menší hodnotě než v letním období, a celkové Jouleovy ztráty vůči technickým ztrátám ČEPS, a.s. byly také na menší hodnotě oproti letnímu období. Pro podzimní období byly Jouleovy ztráty v rozmezí od 1,45 MW do 4,08 MW a pro zimní období byly také od hodnot 1,88 MW až 5,69 MW.

5.2.4 Podíl technických ztrát na hraničních vedeních polského profilu

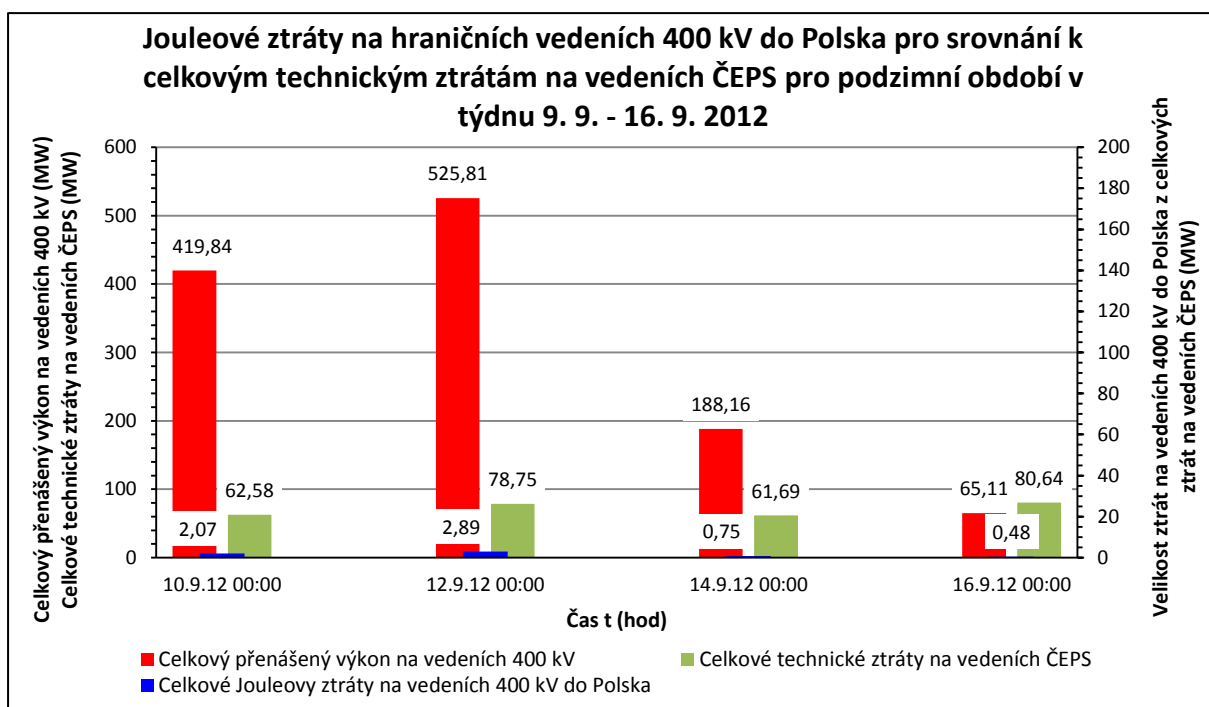
V této podkapitole jsem zhodnotil podíl Jouleových ztrát všech hraničních vedení pro napěťovou hladinu 400 kV polského profilu a také přenášeného výkonu k celkovým technickým ztrátám na vedeních přenosové soustavy ČEPS, a.s. Mezi celkové hraniční vedení do polského profilu z napěťové hladiny 400 kV patří dvě vedení. Tyto vedení jsou dvě vedení V443 a V444, první z Albrechtic do Dobrozeně a druhé z Nošovic do Wielopole. Pro tuto podkapitolu jsem přenášené výkony použil v absolutní hodnotě na jednotlivých vedeních, kde jsem je sečetl a porovnal s celkovými Jouleovými ztrátami na vedeních 400 kV a celkovými naměřenými technickými ztrátami na vedeních ČEPS, a.s. Pro porovnání jsem používal již vybrané dny v jednotlivých ročních obdobích, které jsem vztahoval k půlnoci vybraného dne.

Letní období – týdenní data



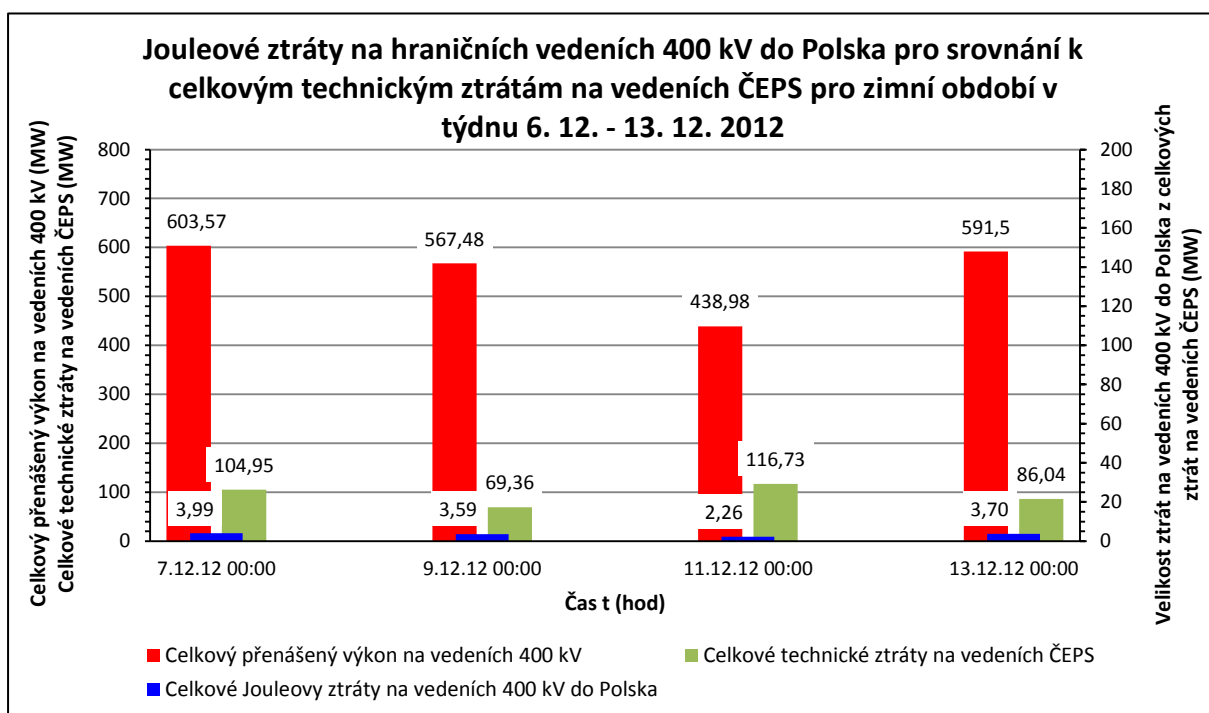
Graf 5.13 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.14 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 5.15 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

Při zhodnocení výsledů Jouleových ztrát na všech vedeních 400 kV pro slovenský profil k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. lze konstatovat, že největší hodnoty byly pro vybrané dny opět v letním období. Přenášený výkon se pohyboval na kolem hodnoty 550 MW, v jednom z vybraných dnů tuto hodnotu překročil a byl vyšší. Technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. jsou v porovnání s přenášeným výkonem velmi malé. Pro porovnání jsem vybral letní období, kde se přenášený výkon dne 4. 7. 2012 o půlnoci pohyboval na hodnotě 530,64 MW, z toho technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly jen 76,2 MW a celkové Jouleové ztráty na vedeních 400 kV do Polska byly z technických ztrát jen 3,07 MW. Jouleovy ztráty na hraničních vedeních 400 kV polského profilu byly porovnání vůči technickým ztrátám na vedeních v přenosové soustavě minimální. Pro den 6. 7. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon na dvou vedeních do Polska 474,52 MW, z toho ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly 78,77 MW a celkové Jouleovy ztráty tvořily pouze 2,6 MW. Pro další z vybraných dnů a to 8. 7. 2012 o půlnoci se pohyboval přenášený výkon na všech vedeních 541,26 MW, technické ztráty na vedeních tvořily v tomto dni a čase 80,71 MW a celkové Jouleovy ztráty byly z technických ztrát jen 3,49 MW. V posledním z vybraných dnů a to dne 10. 7. 2012 v půlnoci byl přenášený výkon největší a to 827,32 MW, technické ztráty se pohybovaly na hodnotě 107,67 MW a celkové Jouleovy ztráty na vedeních 400 kV do Polska byly také největší a to 7,76 MW. Pro ostatní roční období se přenášený výkon pohyboval na menší hodnotě oproti letnímu období, a celkové Jouleovy ztráty vůči technickým ztrátám ČEPS, a.s. byly také na menší hodnotě než v letním období. Pro podzimní období byly Jouleovy ztráty v rozmezí od 0,48 MW do 2,89 MW a pro zimní období byly také od hodnot 2,26 MW až 3,99 MW.

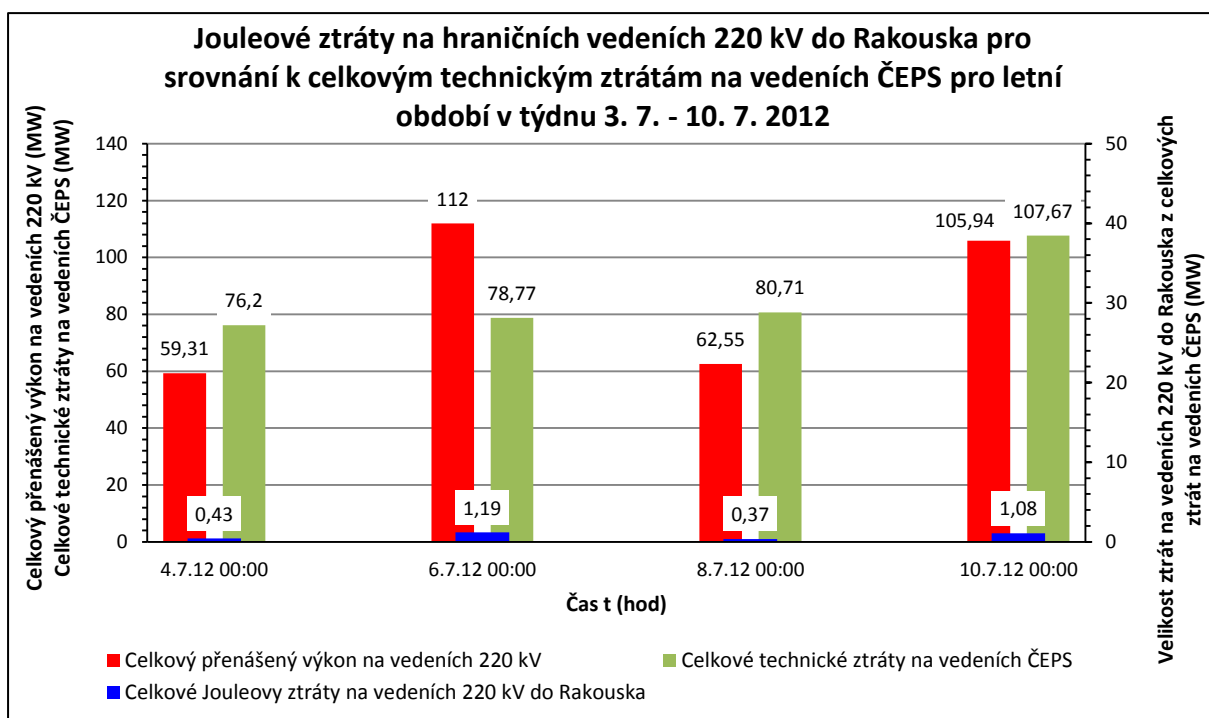
5.3 Podíl Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničních vedeních 220 kV k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s.

V této kapitole se bude uvádět velikost Jouleových ztrát pro napěťovou hladinu 220 kV vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. přenosové soustavy pro jednotlivé sousední státy. Jak už samotný název kapitoly napovídá, tak jsem pro jednotlivé zahraniční státy porovnal celkové Jouleovy ztráty s přenášeným výkonem k technickým ztrátám na všech vedeních ČEPS, a.s. přenosové soustavy. Toto porovnání jsem prováděl pro jednotlivé roční období s týdenními vzorky. Pro letní období byla vybrána data z měsíce července z dnů 4. 7., 6. 7., 8. 7. a 10. 7. 2012. V podzimní období byly vybrány data z měsíce září z dnů 10. 9., 12. 9., 14. 9. a 16. 9. 2012. a poslední zimním obdobím byl zvolen měsíc prosinec s dny 7. 12., 9. 12., 11. 12. a 13. 12. 2012. V této kapitole se budou porovnávat vedení do Rakouska, Slovenska a Polska. Zde se nebudou popisovat vedení 220 kV do Německa, protože do tohoto profilu žádné vedení nevede.

5.3.1 Podíl technických ztrát na hraničních vedeních rakouského profilu

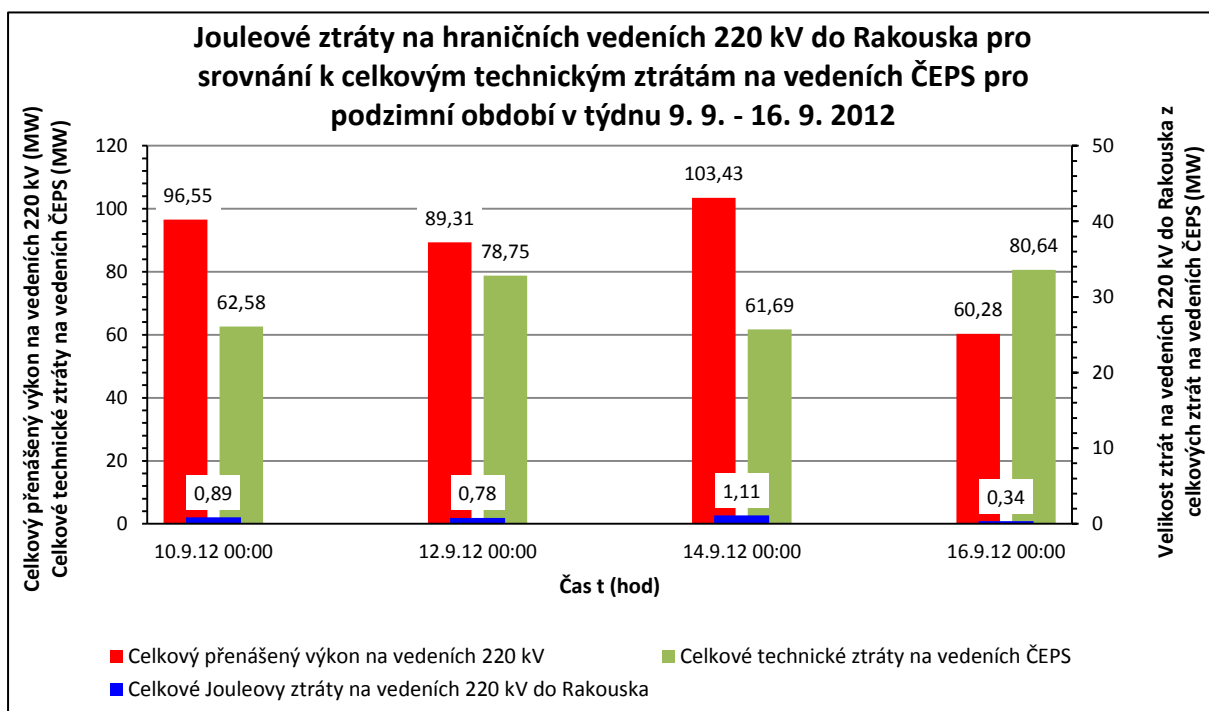
V této podkapitole jsem zhodnotil podíl Jouleových ztrát všech hraničních vedení pro napěťovou hladinu 220 kV do rakouského profilu a přenášeného výkonu k celkovým technickým ztrátám na vedeních přenosové soustavy ČEPS, a.s. Mezi hraniční vedení do rakouského profilu napěťové hladiny 220 kV patří pouze dvě vedení. Tyto vedení jsou dvě paralelní vedení V243 a V244 ze Sokolnice do Bisambergu. Pro tuto podkapitolu jsem přenášené výkony použil v absolutní hodnotě na jednotlivých vedeních, kde jsem je celkově sečetl a porovnal s celkovými Jouleovými ztrátami na těchto vedeních k celkovým naměřeným technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. Pro porovnání jsem používal již vybrané dny v jednotlivých ročních obdobích, které jsem vztahoval k půlnoci vybraného dne.

Letní období – týdenní data



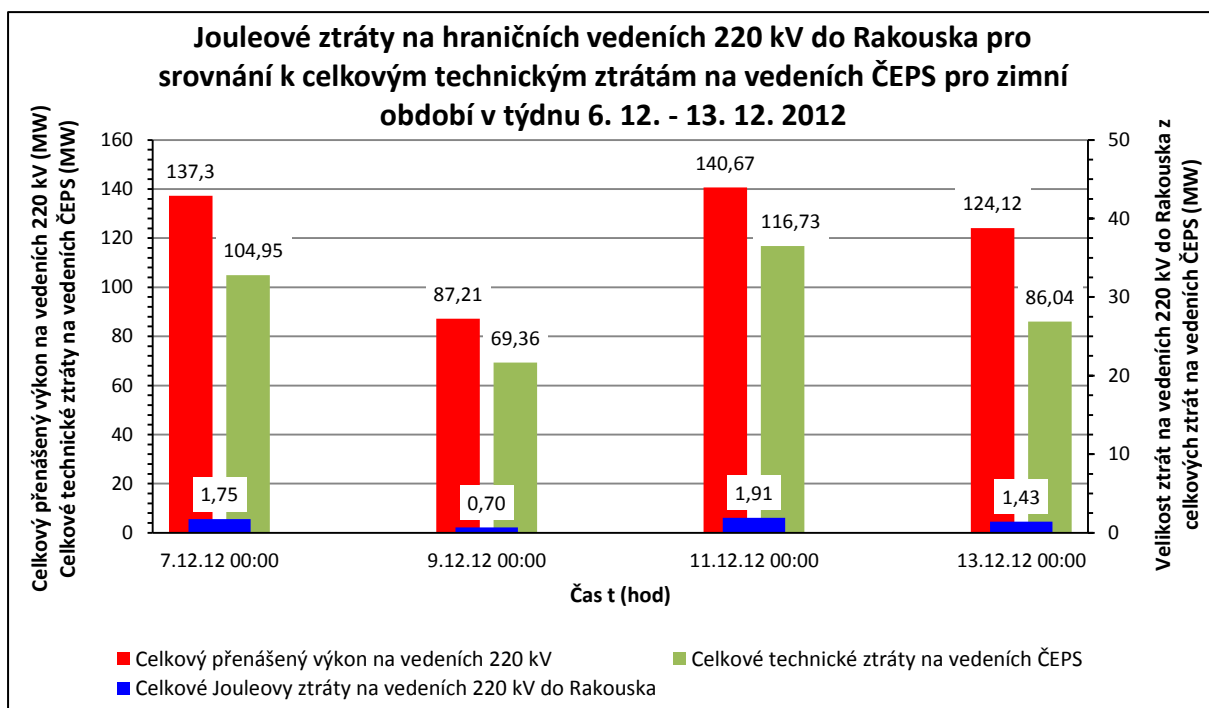
Graf 5.16 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.17 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 5.18 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

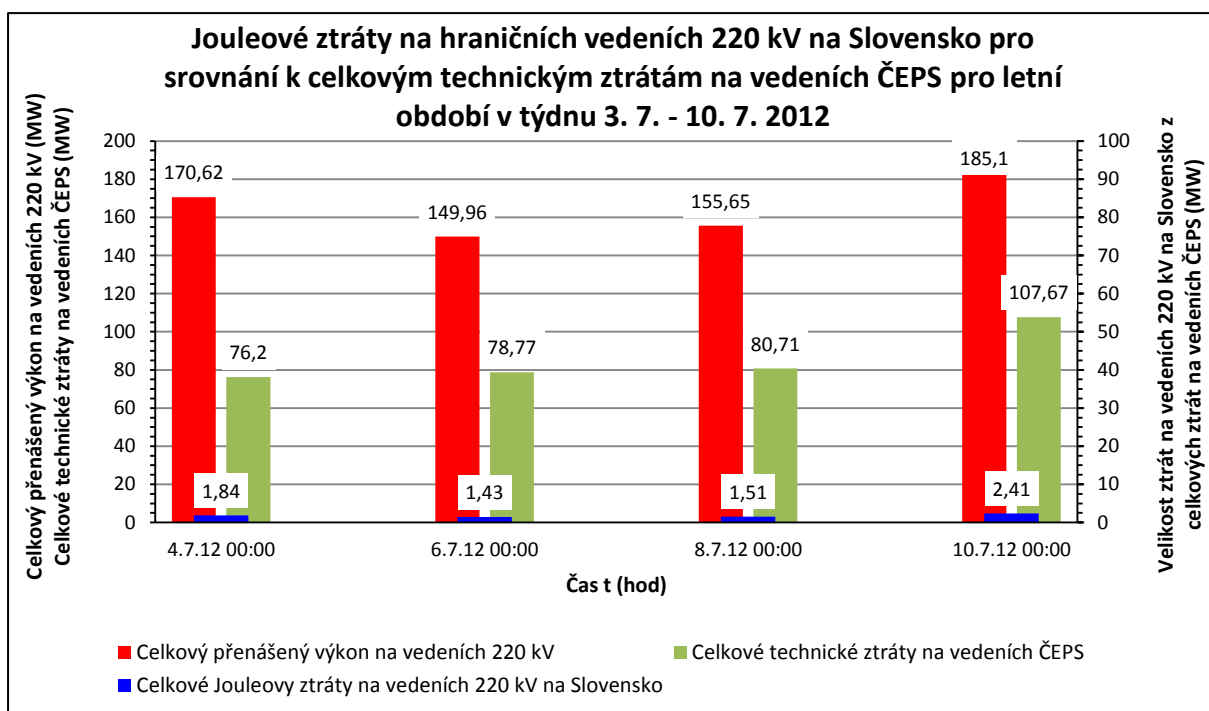
Při zhodnocení výsledů Jouleových ztrát na všech vedeních 220 kV pro rakouský profil k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. lze si všimnout, že největší hodnoty byly pro vybrané dny v zimním období. Přenášený výkon se pohyboval na kolem hodnoty 130 MW, v několika z vybraných dnů tuto hodnotu překročil a byl vyšší. Technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. jsou v porovnání s přenášeným výkonem na vedeních 220 kV do Rakouska stejné nebo i větší. To záleží, jaký se přenášel výkon na vedeních. Pro srovnání nás spíše budou zajímat celkové Jouleovy ztráty k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s., neboť se tato kapitola touto problematikou zajímá. Pro porovnání jsem vybral zimní období, kde se přenášený výkon dne 7. 12. 2012 o půlnoci pohyboval na hodnotě 137,3 MW, z toho technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly jen 104,95 MW a celkové Jouleové ztráty na vedeních 220 kV do Rakouska byly z technických ztrát jen 1,75 MW. Pro den 9. 12. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon na dvou vedeních do Rakouska na hodnotě 87,21 MW, z toho ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly 69,36 MW a celkové Jouleovy ztráty tvořily pouze 0,7 MW z technických ztrát. Pro další z vybraných dnů a to 11. 12. 2012 o půlnoci se pohyboval přenášený výkon na všech vedeních 140,67 MW, technické ztráty na vedeních byly v tomto dni 116,73 MW a celkové Jouleovy ztráty byly z technických ztrát jen 1,91 MW.

V posledním z vybraných dnů a to dne 13. 12. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon 124,12 MW, technické ztráty se pohybovaly na hodnotě 86,04 MW a celkové Jouleovy ztráty na vedeních 220 kV do Rakouska vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. byly 1,43 MW. Pro ostatní roční období se přenášený výkon pohyboval na menší hodnotě oproti zimnímu období, a celkové Jouleovy ztráty vůči technickým ztrátám ČEPS, a.s. byly také na menší hodnotě než v porovnaném zimním období. Pro letní období byly Jouleovy ztráty v rozmezí od 0,37 MW do 1,19 MW a pro podzimní období byly od hodnot 0,34 MW až 1,11 MW. Jouleovy ztráty na hraničních vedeních 220 kV pro rakouský profil byly v porovnání vůči technickým ztrátám na vedeních v přenosové soustavě minimální.

5.3.2 Podíl technických ztrát na hraničních vedeních slovenského profilu

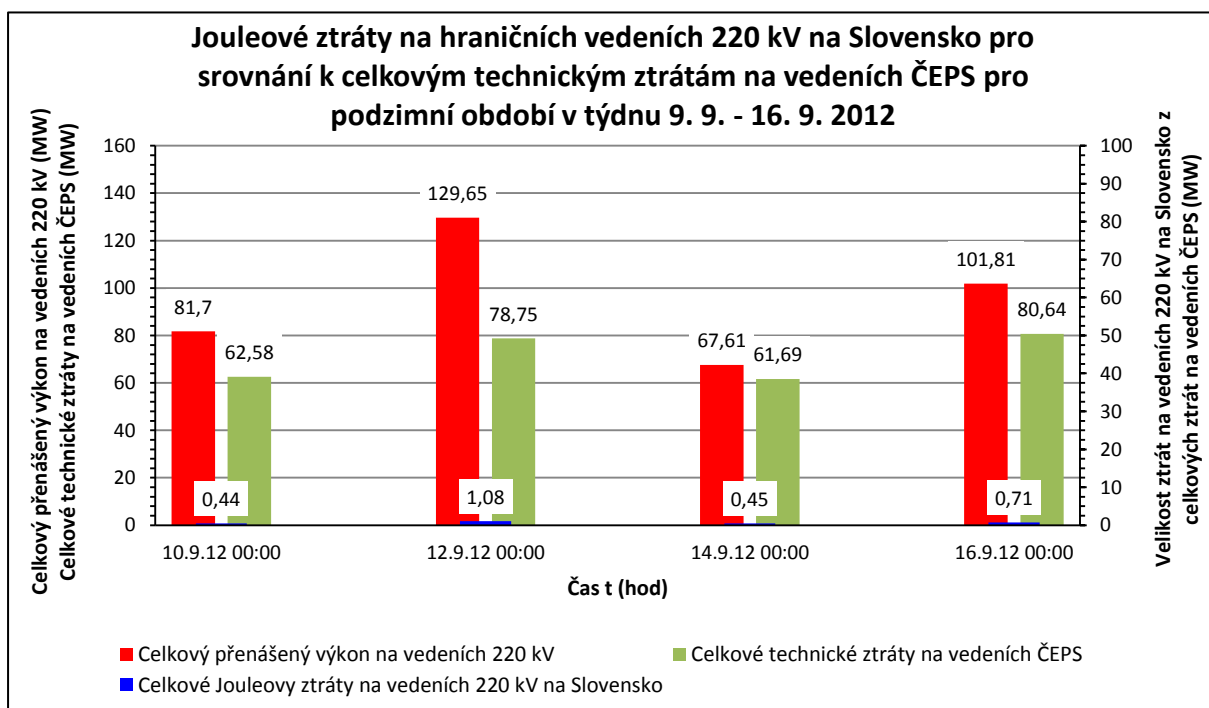
V této podkapitole jsem zhodnotil podíl Jouleových ztrát všech hraničních vedení pro napěťovou hladinu 220 kV pro slovenský profil a přenášeného výkonu k celkovým technickým ztrátám na vedeních přenosové soustavy ČEPS, a.s. Mezi celkové hraniční vedení na slovenském profilu napěťové hladiny 220 kV patří dvě vedení. Tyto dvě vedení jsou V270 a V280, kde první vedení vede z rozvodny Lískovce do Považské Bystrice a druhé vedení vede ze stanice Sokolnice do Senice. Pro tuto podkapitolu jsem přenášené výkony použil v absolutní hodnotě na jednotlivých vedeních, kde jsem je celkově sečetl a porovnal s celkovými Jouleovými ztrátami na těchto vedeních k celkovým naměřeným technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. Pro porovnání jsem používal již vybrané dny v jednotlivých ročních obdobích, které jsem vztahoval k půlnoci vybraného dne.

Letní období – týdenní data



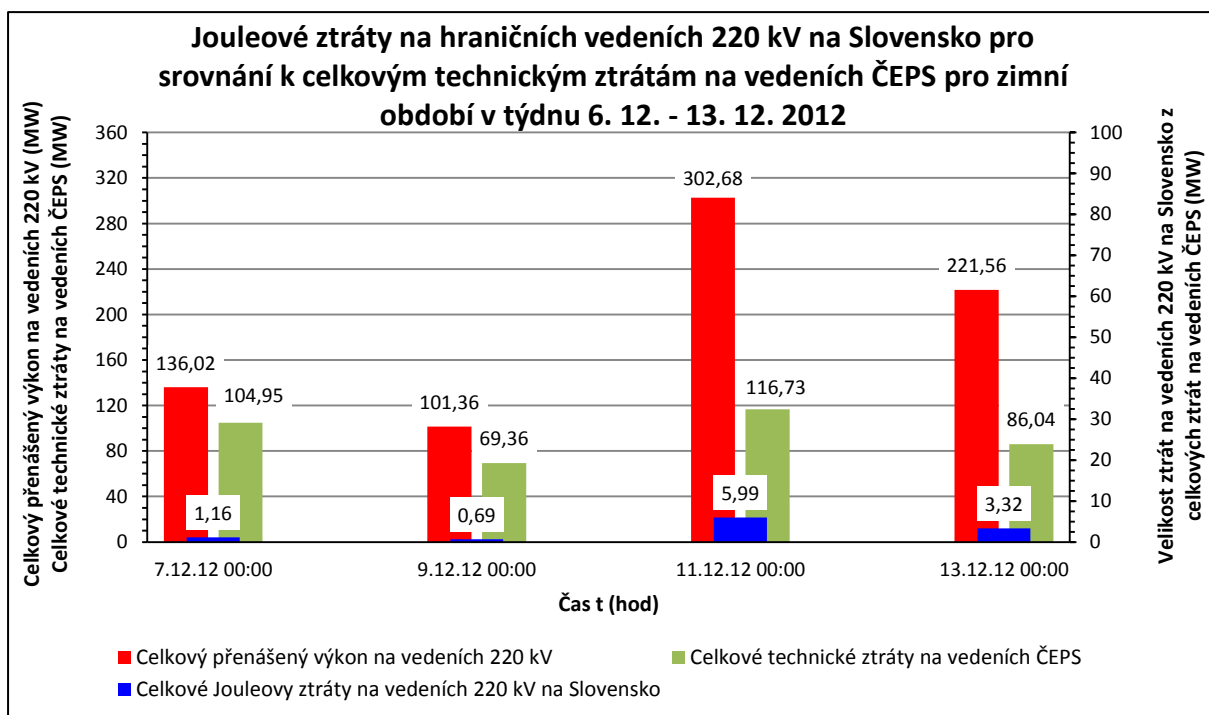
Graf 5.19 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.20 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 5.21 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

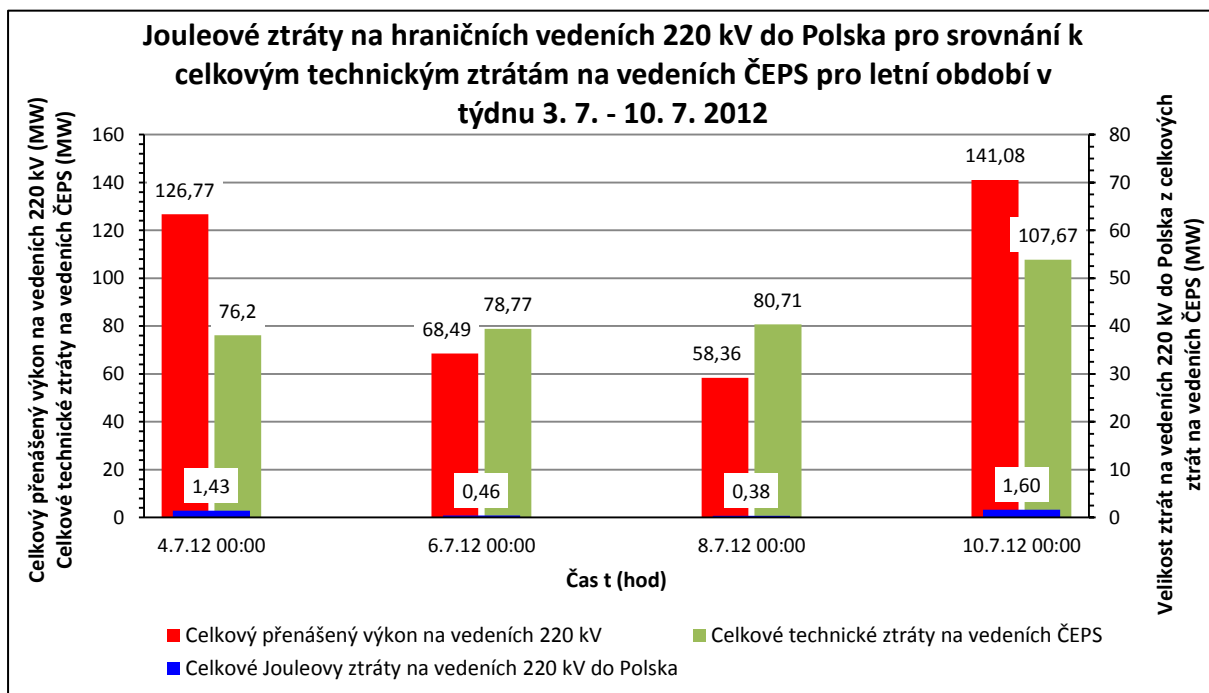
Při zhodnocení výsledů Jouleových ztrát na všech vedeních 220 kV pro slovenský profil k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. můžeme vidět, že největší hodnoty byly pro vybrané dny v letním období. Přenášený výkon se pohyboval kolem hodnoty 150 MW, v několika dnech tuto hodnotu překročil a byl vyšší. Pro srovnání nás spíše budou zajímat celkové Jouleovy ztráty k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s., neboť se tato kapitola touto problematikou zajímá. Pro porovnání jsem vybral letní období, kde se přenášený výkon dne 4. 7. 2012 o půlnoci pohyboval na hodnotě 170,62 MW, z toho technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly jen 76,2 MW a celkové Jouleové ztráty na vedeních 220 kV na Slovensko byly z technických ztrát jen 1,84 MW. Pro den 6. 7. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon na dvou vedeních na Slovensko na hodnotě 149,96 MW, z toho ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly 78,77 MW a celkové Jouleovy ztráty tvořily pouze 1,43 MW z technických ztrát. Pro další z vybraných dnů a to 8. 7. 2012 o půlnoci se pohyboval přenášený výkon na dvou vedeních na 155,65 MW, technické ztráty na vedeních byly v tomto dni 80,71 MW a celkové Jouleovy ztráty byly z technických ztrát jen 1,51 MW. V posledním z vybraných dnů a to dne 10. 7. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon 185,1 MW, technické ztráty se pohybovaly na hodnotě 107,67 MW a celkové Jouleovy ztráty na vedeních 220 kV na

Slovensko vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. byly 2,41 MW. Pro ostatní roční období se přenášený výkon pohyboval na menší hodnotě oproti letnímu období, a celkové Jouleovy ztráty vůči technickým ztrátám ČEPS, a.s. byly také na menší hodnotě než v porovnaném letním období. Pro podzimní období byly Jouleovy ztráty v rozmezí od 0,44 MW do 1,08 MW a pro zimní období byly od hodnot 0,69 MW až 5,99 MW.

5.3.3 Podíl technických ztrát na hraničních vedeních polského profilu

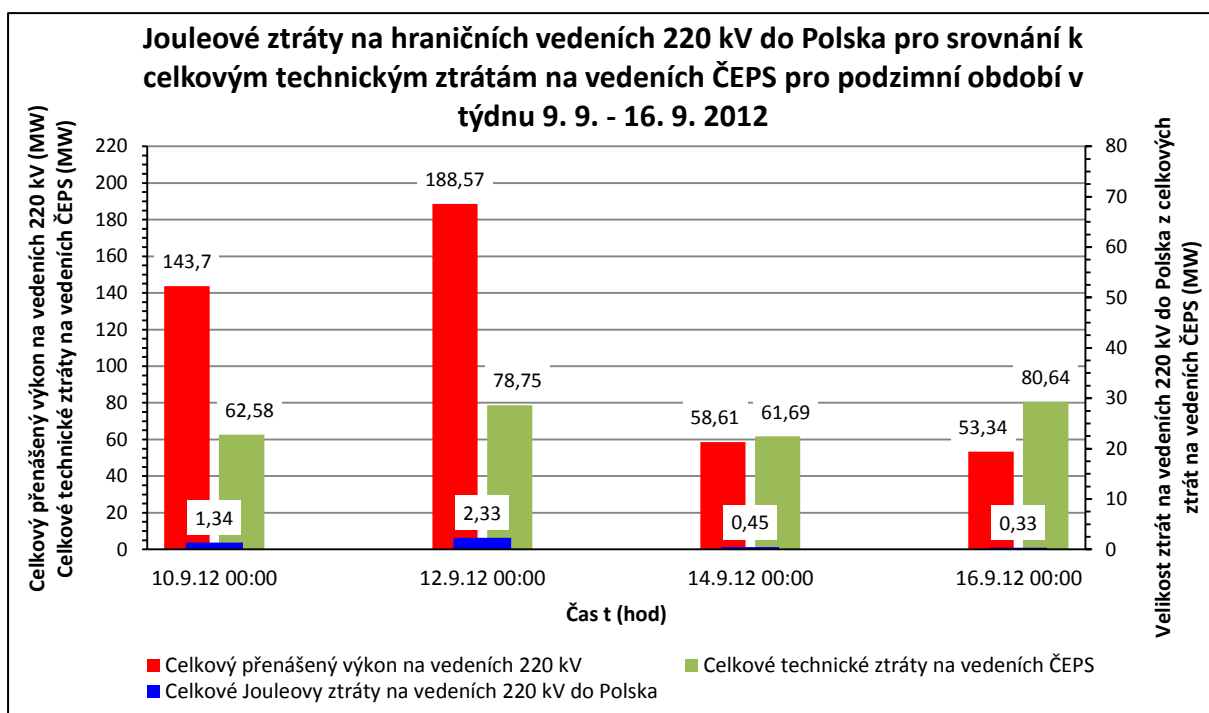
V této podkapitole jsem zhodnotil podíl Jouleových ztrát všech hraničních vedení pro napětovou hladinu 220 kV pro polský profil a také přenášeného výkonu k celkovým technickým ztrátám na vedeních přenosové soustavy ČEPS, a.s. Mezi celkové hraniční vedení polského profilu napětové hladiny 220 kV patří dvě vedení. Tyto dvě vedení jsou z rozvodny Lískovec V245 a V246 do Bujakowu a Kopanin. Pro tuto podkapitolu jsem přenášené výkony použil v absolutní hodnotě na jednotlivých vedeních, kde jsem je celkově sečetl a porovnal s celkovými Jouleovými ztrátami na těchto vedeních k celkovým naměřeným technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. Pro porovnání jsem používal již vybrané dny v jednotlivých ročních obdobích, které jsem vztahoval k půlnoci vybraného dne.

Letní období – týdenní data



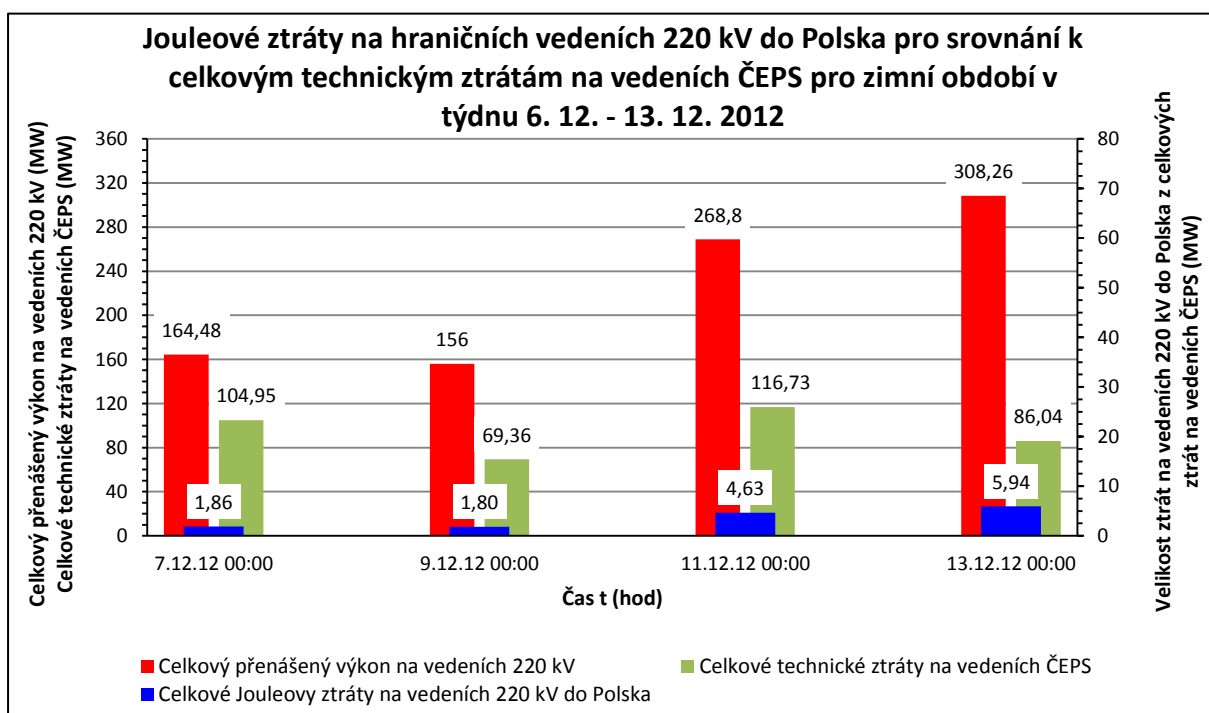
Graf 5.22 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.23 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



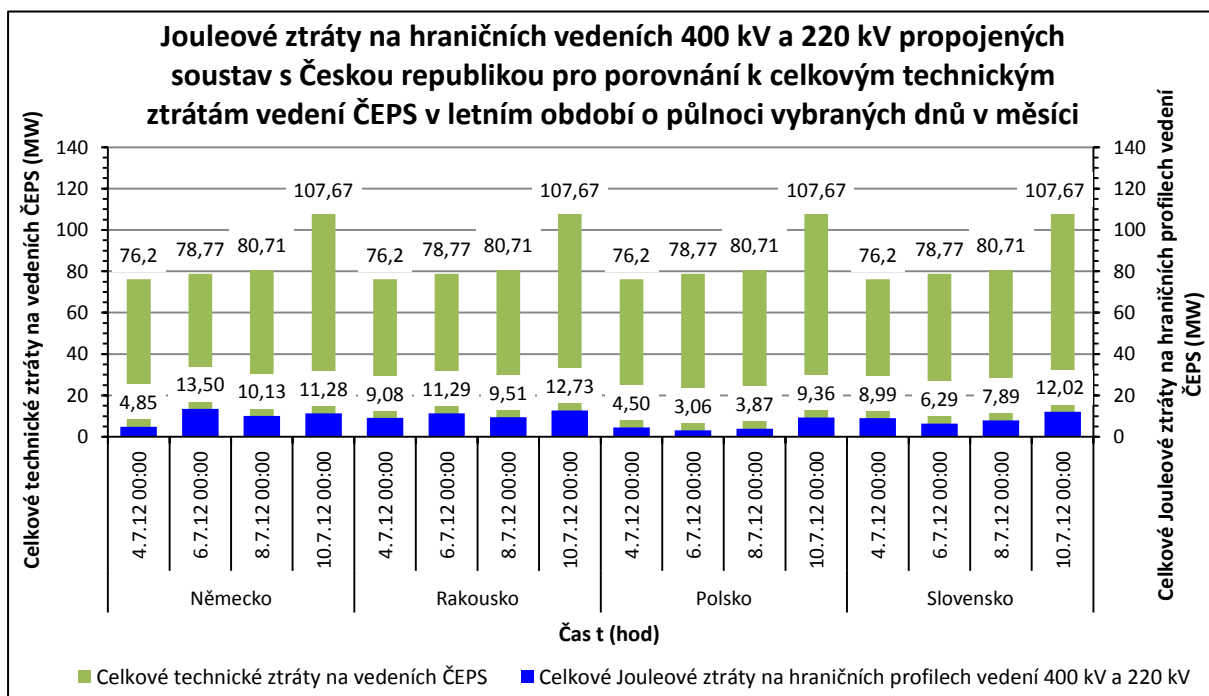
Graf 5.24 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

Při zhodnocení výsledků Jouleových ztrát na všech vedeních 220 kV pro polský profil k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. lze pozorovat, že největší hodnoty byly pro vybrané dny v zimním období. Přenášený výkon se pohyboval od hodnoty 156 MW do 308 MW. Technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. jsou v porovnání s přenášeným výkonem na vedeních 220 kV do Polska stejné nebo i větší v různých obdobích, to zrovna záleží, jaký se přenášel výkon na vedeních. Pro srovnání nás spíše, ale budou zajímat celkové Jouleovy ztráty k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s., neboť se tato kapitola touto problematikou zajímá. Pro porovnání jsem vybral zimní období, kde se přenášený výkon dne 7. 12. 2012 o půlnoci pohyboval na hodnotě 164,48 MW, z toho technické ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly jen 104,95 MW a celkové Jouleové ztráty na vedeních 220 kV do Polska byly z technických ztrát jen 1,86 MW. Pro den 9. 12. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon na dvou vedeních do Polska na hodnotě 156 MW, z toho ztráty na vedeních ČEPS, a.s. byly 69,36 MW a celkové Jouleovy ztráty tvořily pouze 1,8 MW z technických ztrát. Pro další z vybraných dnů a to 11. 12. 2012 o půlnoci se pohyboval přenášený výkon na všech vedeních 268,8 MW, technické ztráty na vedeních byly v tomto dni 116,73 MW a celkové Jouleovy ztráty byly z technických ztrát vyšší a to 4,63 MW. V posledním z vybraných dnů a to dne 13. 12. 2012 o půlnoci byl přenášený výkon největší 328,26 MW, technické ztráty se pohybovaly na hodnotě 86,04 MW a celkové Jouleovy ztráty na vedeních 220 kV do Polska vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. byly také největší 5,94 MW. Pro ostatní roční období se přenášený výkon pohyboval na menší hodnotě oproti zimnímu období, a celkové Jouleovy ztráty vůči technickým ztrátám ČEPS, a.s. byly také na menší hodnotě než v porovnaném zimním období. Pro letní období byly Jouleovy ztráty v rozmezí od 0,38 MW do 1,6 MW a pro podzimní období byly od hodnot 0,33 MW až 2,33 MW. Jouleovy ztráty na hraničních vedeních 220 kV do polského profilu byly v porovnání vůči technickým ztrátám na vedeních v přenosové soustavě minimální.

5.4 Velikost Jouleových ztrát na hraničních vedeních 400 kV a 220 kV propojených s ČR vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s.

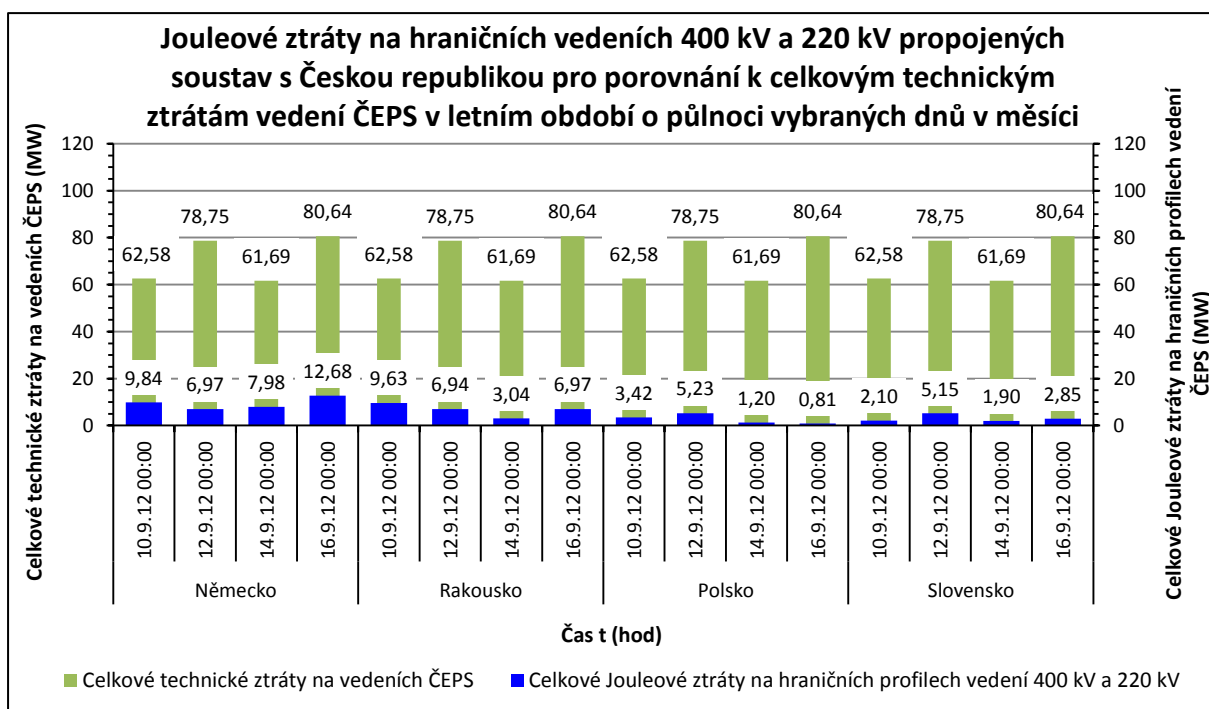
V této kapitole se bude uvádět velikost celkových Jouleových ztrát pro obě napěťové hladiny 400 kV a 220 kV vůči technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. přenosové soustavy pro jednotlivé zahraniční státy, které sousedí s Českou republikou. Jak už samotný název kapitoly napovídá, tak jsem pro jednotlivé zahraniční státy porovnal celkové Jouleovy ztráty na všech vedeních pro daný profil státu a porovnal je s velikostí technických ztrát na všech vedeních ČEPS, a.s. přenosové soustavy. Toto porovnání jsem prováděl pro jednotlivé roční období s týdenními vzorky. Pro letní období byla data z měsíce července z dnů 4. 7., 6. 7., 8. 7. a 10. 7. 2012. V podzimní období byly vybrané data z měsíce září z dnů 10. 9., 12. 9., 14. 9. a 16. 9. 2012. a posledním zimním obdobím byl zvolen měsíc prosinec s dny 7. 12., 9. 12., 11. 12. a 13. 12. 2012. V této kapitole se budou porovnávat vedení pro německý profil, rakouský profil, slovenský profil a polský profil.

Letní období – týdenní data



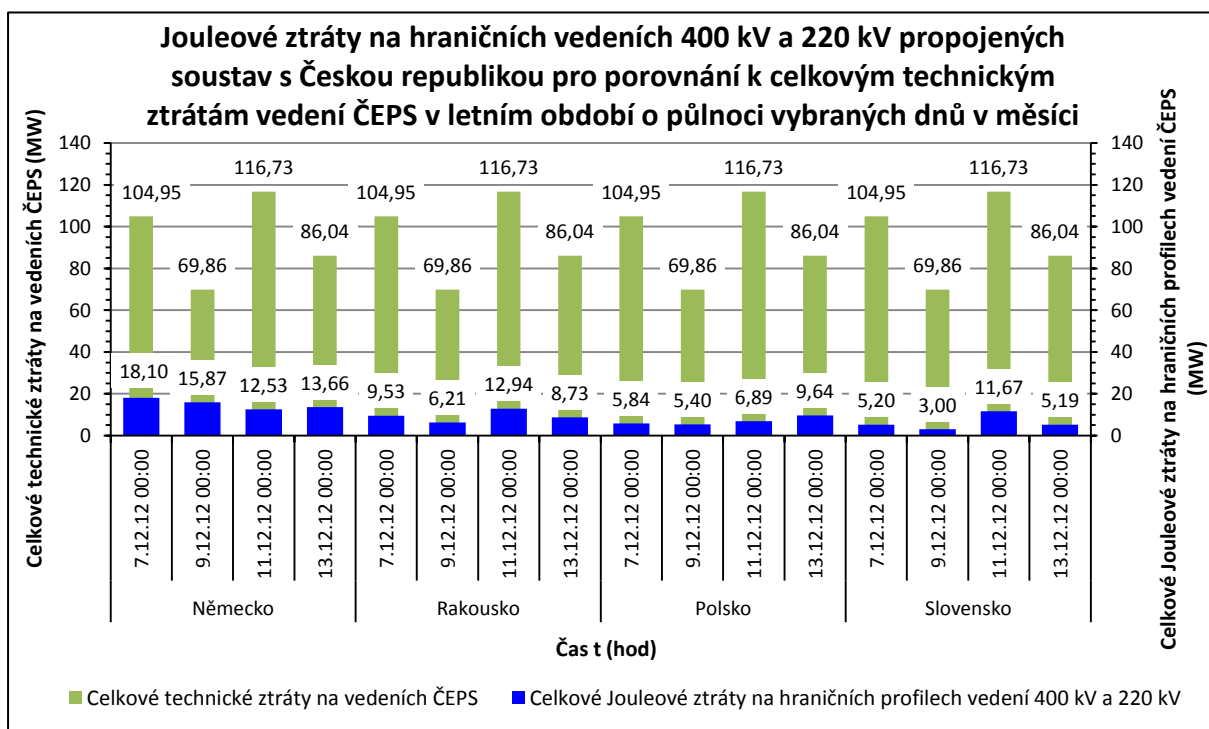
Graf 5.25 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV a 220 kV jednotlivých států k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012

Podzimní období – týdenní data



Graf 5.26 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV a 220 kV jednotlivých států k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012

Zimní období – týdenní data



Graf 5.27 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV a 220 kV jednotlivých států k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012

Při zhodnocení výsledků celkových Jouleových ztrát na všech hraničních vedeních 400 kV a 220 kV pro jednotlivé sousední státy s Českou republikou vztažené k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. si lze všimnout, že největší hodnoty technických ztrát byly pro vybrané dny v zimním období. Kdežto největší Jouleovy ztráty byly největší, jak pro letní období, tak i pro zimní období pro jednotlivé sousední státy. Pro německý profil jsou největší celkové Jouleovy ztráty v zimním období, kde se pohybovaly ve vybraných dnech v rozmezí hodnot od 12,53 MW do 18,1 MW. Nejmenší celkové Jouleovy ztráty pro německý profil byly na podzim, kde se pohybovaly v rozmezí hodnot 6,97 MW až do hodnoty 12,68 MW. Pro Rakouský profil byly největší celkové Jouleovy ztráty na vedeních naopak v létě, kde se pohybovaly v rozmezí hodnot od 9,08 MW do 12,73 MW. Nejmenší Jouleovy ztráty v rakouském profilu byly opět na podzim, kde dosáhly hodnot od 3,04 MW do 9,63 MW. V polském profilu byly největší celkové Jouleovy ztráty zase v zimním období, kde dosáhly hodnot od 5,4 MW až do 9,64 MW. Nejmenší byly Jouleovy ztráty opět v podzimním období, kde byly nejmenší v celém sledovaném období od 0,81 MW do 5,23 MW. V poslední sledované zemi na Slovensku byly největší ztráty v letním období, zde dosáhly velikosti od 6,29 MW do 12,02 MW a nejmenší ztráty byly zase v podzimním období, kde dosáhly hodnot od 1,9 MW do 5,15 MW. Kdybych teď měl srovnat velikost Jouleových ztrát na vedeních pro jednotlivé státy, tak největší ztráty byly v letním období na rakouských vedeních. V podzimním období byly největší Jouleovy ztráty v německém profilu, to samé bylo i pro zimní období.

6 Modelové stavy provozu hraničních vedení VVN a ZVN s ohledem k celkovým ztrátám přenosové

V této kapitole se budu zabývat modelovými stavy na vybraných hraničních vedeních České republiky, kde se ukáže, jak se budou dané paralelní vedení chovat, při výpadku, vypnutí, nebo při poruše druhého vedení, které nepodléhá poruše, bude přenášet plný výkon v daném období.

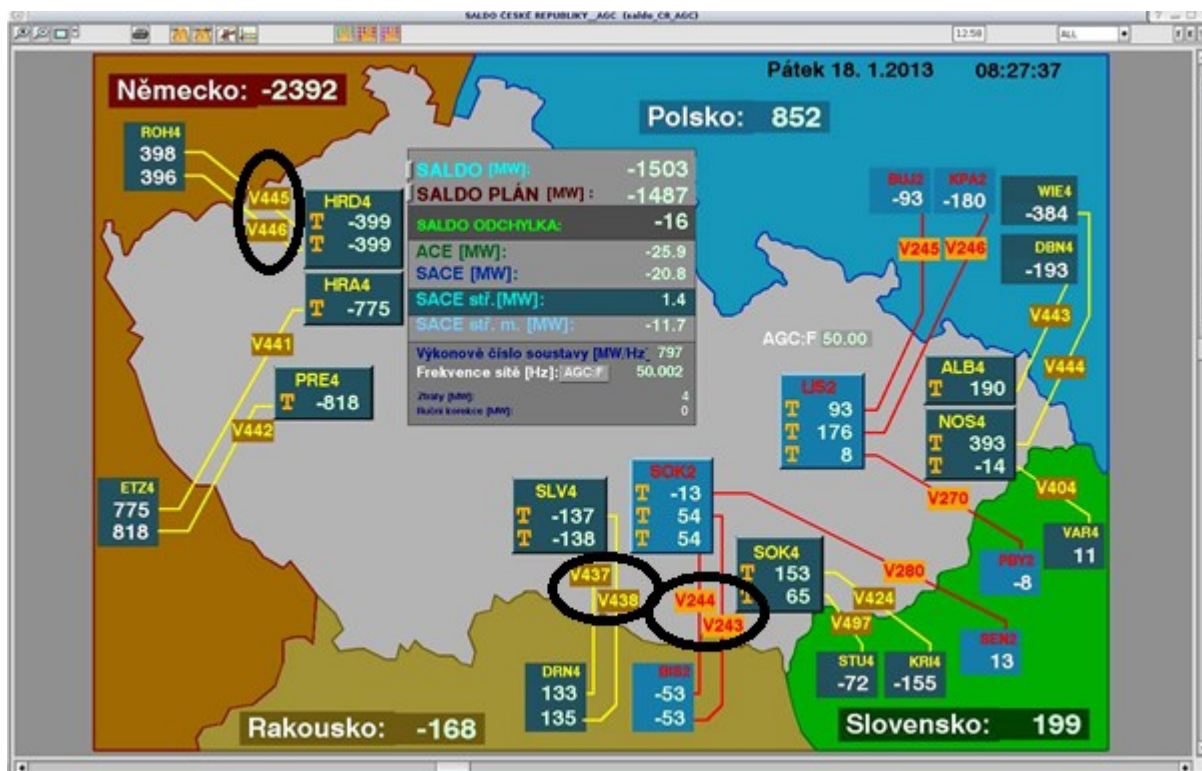
Modelování neboli simulace je používaná metoda v odborné praxi, podle které bývá cílem pochopit pozorované jevy a napodobit chování zkoumaného systému, následně simulovat na vlastním modelu.

Model není vždy reálný, ale je to pouze jen přiblížení k reálnému systému. Samotný reálný systém může být natolik složitý, že mu model nemusí odpovídat.

Pro ukázkou modelového stavu jsem si vybral dvě paralelní vedení na hladině napětí 400 kV, kde první paralelní vedení V437, V438 vede z České republiky do Rakouska a druhé paralelní vedení V445, V446 vede z České republiky do Německa. Další případ bude na hladině napětí 220 kV, kde budu simulovat pouze jedno paralelní vedení V243, V244, které vede opět z České republiky do Rakouska.

Případy simulace byly prováděny ve třech ročních obdobích: léto, podzim, zima s denními a týdenními vzorky. Pro letní období byly vybrány data z měsíce července z dnů 3. 7. – 10. 7. 2012. Pro podzimní období byly vybrány data z měsíce září z dnů 9. 9. – 16. 9. 2012 a pro zimní období byly vybrána data měsíce prosince a dnů 6. 12. – 13. 12. 2012.

Pro simulování výpadku na jedné z paralelních linek jsem si určil podmínku, že paralelní vedení začíná ve stejné rozvodně České republiky a končí ve stejné rozvodně v zahraničí.



Obr. 6.1 – Přehled hraničních vedení z České republiky do sousedních zemí z řídícího dispečinku ČEPS v Ostravě, ukázka simulace pro vybrané vedení [9]

6.1 Modelový stav na hraničních vedeních na hladině napětí 400 kV

Pro tento případ bylo vybráno vedení V437 a V438 z České republiky do Rakouska a vedení V445 a V446 z České republiky do Německa. Pro oba typy vedení bude jedno z vedení vypnuto a přenášeny výkon bude přenášet vedení druhé, které bude v provozu. V obou případech se můžeme přesvědčit, zda paralelní vedení, které propojují stejné rozvodny, mají svůj význam při výstavbě i při výpadku jednoho z nich. Výsledkem modelace, bude grafické znázornění procházejícího proudu na vedeních, neboť přenášeny výkon je závislý na přenášeném proudu, přenášeném na svém i poruchovém vedení.

6.1.1 Vedení V437, V438 z České republiky do Rakouska

V minulých letech bylo v provozu pouze jedno vedení V437 ze Slavětic do Dürnhrohu, na které se nemohly přenášet, tak velké výkony, proto se začalo s postupem času uvažovat a plánovat paralelní vedení s V438, které mělo odlehčit původní vedení a zároveň díky tomu se

mohou přenášet větší výkony na obou vedeních V437 a V438, které vedou ze Slavětic do Dürnhornu (Rakousko).

Tab. 6.1 – Parametry vedení V437 a V438 ze Slavětic do Dürnhornu [9]

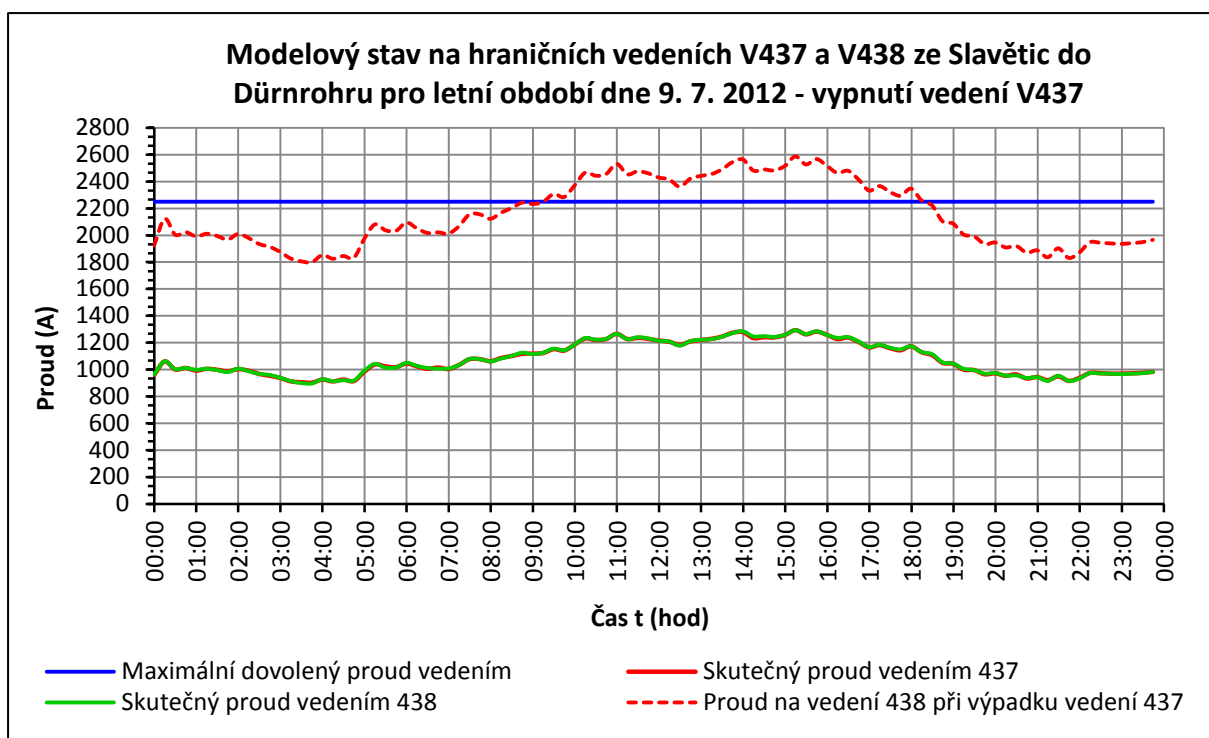
Hraniční vedení z České republiky do Rakouska					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Rakousko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V437	Slavětice	SLV4	Dürnrohr	ADRN4	96,07
V438	Slavětice	SLV4	Dürnrohr	ADRN4	96,07

Číslo vedení	Zatížitelnost	R	X	B	Z_v
	(A)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V437	2250	2,07	28,54	375	276
V438	2250	2,07	28,54	375	276

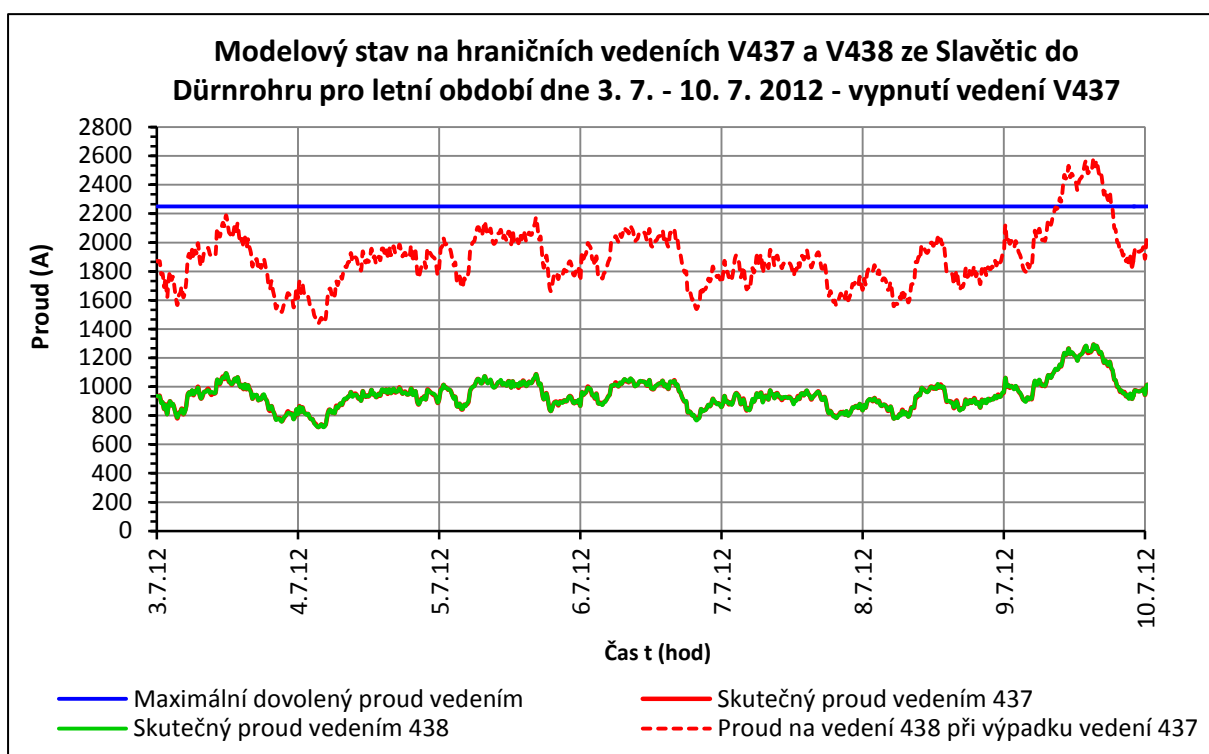
Letní období – denní a týdenní data

Tab. 6.2 – Ukázka dat z letního období při překročení dovoleného zatížení na vedení V438 [9]

Datum a čas	Proud na vedení V437	Proud na vedení V438	Proud na vedení V438 při výpadku V437	Max. proudové zatížení vedení	Proud. zatížení na vedení V437	Proud. zatížení na vedení V438	Zatížení na vedení V438 při výpadku V437
(hod)	(A)	(A)	(A)	(A)	(%)	(%)	(%)
9.7.12 12:45	1209,60	1212,00	2421,60	2250	53,76	53,87	107,63
9.7.12 13:00	1220,40	1221,60	2442,00	2250	54,24	54,29	108,53
9.7.12 13:15	1228,80	1226,40	2455,20	2250	54,61	54,51	109,12
9.7.12 13:30	1245,60	1244,40	2490,00	2250	55,36	55,31	110,67
9.7.12 13:45	1273,20	1270,80	2544,00	2250	56,59	56,48	113,07
9.7.12 14:00	1279,20	1285,20	2564,40	2250	56,85	57,12	113,97
9.7.12 14:15	1234,80	1246,80	2481,60	2250	54,88	55,41	110,29
9.7.12 14:30	1240,80	1249,20	2490,00	2250	55,15	55,52	110,67
9.7.12 14:45	1239,60	1243,20	2482,80	2250	55,09	55,25	110,35
9.7.12 15:00	1257,60	1258,80	2516,40	2250	55,89	55,95	111,84
9.7.12 15:15	1293,60	1293,60	2587,20	2250	57,49	57,49	114,99
9.7.12 15:30	1262,40	1264,80	2527,20	2250	56,11	56,21	112,32
9.7.12 15:45	1282,80	1285,20	2568,00	2250	57,01	57,12	114,13



Graf 6.1 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro letní období 9. 7. 2012

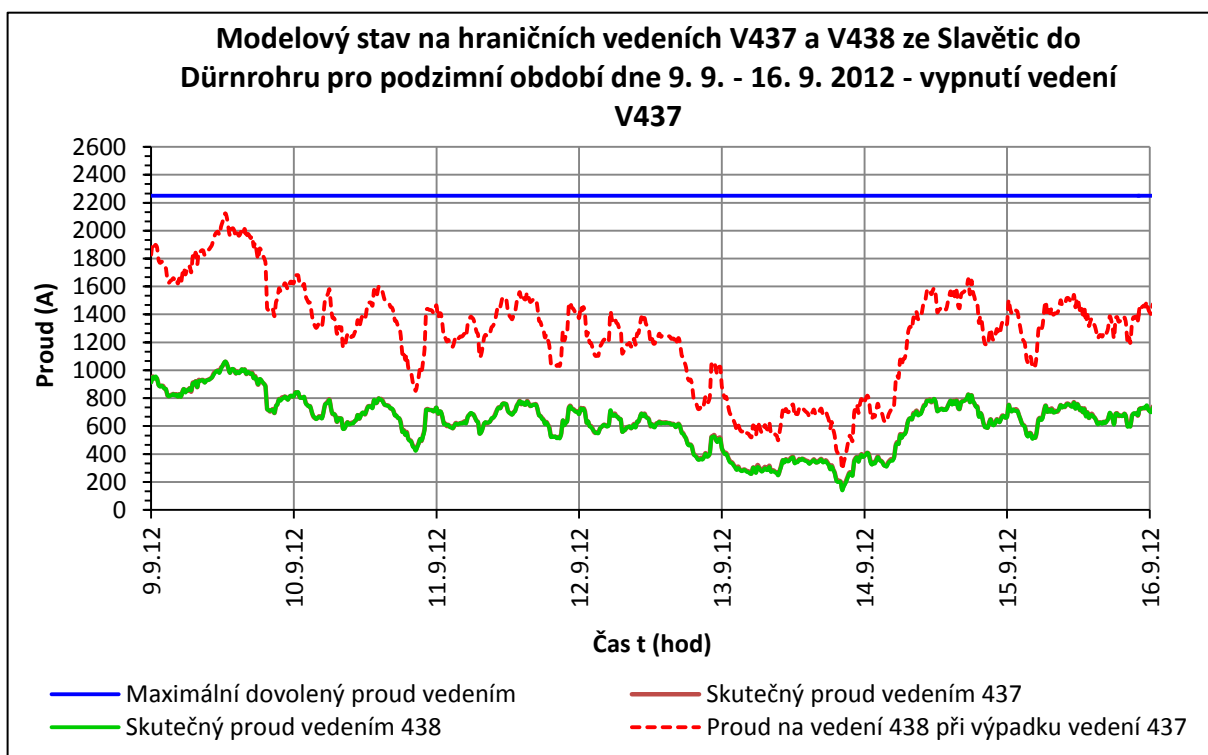


Graf 6.2 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro letní období 3. 7. - 10. 7. 2012

Při této simulaci v letním období, kdy jsem uvažoval vypnuté vedení V437 ze Slavětic do Dürnrhru, si lze povšimnout, že proud na vedení V438 se blíží k dovolené hranici zatížení a dokonce ji překročuje až o hodnotu 337,8 A. V tomto případě je provoz vedení nepřipustný, neboť může dojít vlivem velkého procházejícího proudu vedením k poškození vodičů, nejčastěji k upálení přeponek, které spojují vodiče mezi izolátory na stožáru.

V případě překročení dovoleného zatížení musí obsluha dispečinku ČEPS, a.s. ihned reagovat a snížit potřebný výkon, třeba odpojením části bloku elektrárny Dukovany.

Podzimní období – týdenní data

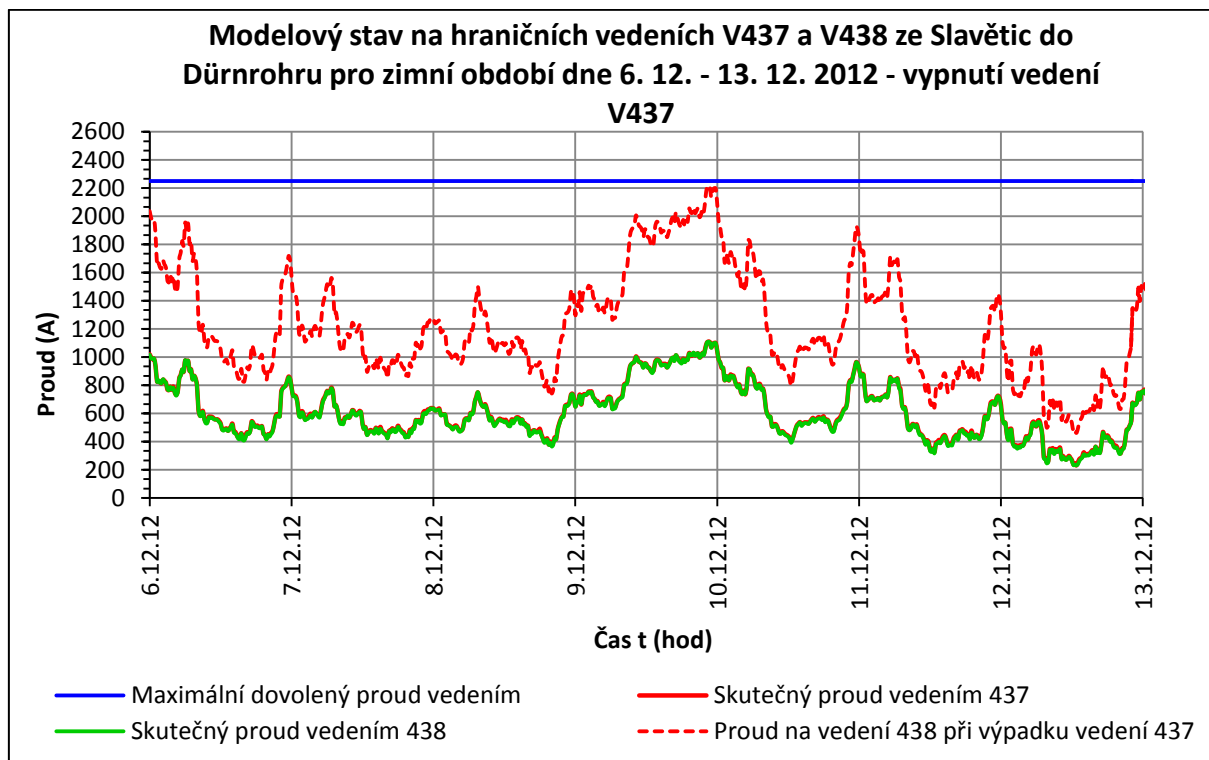


Graf 6.3 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro podzimní období 9. 9. - 16. 9. 2012

Při simulaci vypnutého vedení v podzimním období a podle vypracovaných dat, lze konstatovat, že proud na vedení V437 ze Slavětic do Dürnrhru, vlivem poruchy, opravy, nebo vypnutého vedení, nezpůsobí na vedení V438 překročení maximálního zatížení. Z toho lze říci, že vedení V438 by sneslo proud, který se přenáší na tomto vedení i proud z vedení V437. Ale není řečeno, že nemůže nastat situace, kdy proud může překročit dovolenou hranici zatížení vedení, to záleží na přenášeném výkonu, pokud by se přenášený výkon na vedení

zvýšil vlivem většího odběru u zákazníka, zvětší se i procházející proud na vedení a situace se může opakovat jako v předešlém případě v letním období.

Zimní období – týdenní data



Graf 6.4 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro zimní období 6. 12. – 12. 12. 2012

Při simulaci vypnutého vedení v zimním období a podle vypracovaných dat, nastává stejná situace jako v podzimním období, že proud na vedení V437 ze Slavětic do Dürnhornu, vlivem poruchy, opravy, nebo vypnutého vedení, nezpůsobí na vedení V438 překročení maximálního zatížení, jen se přiblíží špičkově k maximální hodnotě dovoleného zatížení. Z toho lze říci, že vedení V438 by sneslo proud, který se přenáší na tomto vedení i proud z vedení V437. Ale není řečeno, že nemůže nastat situace, kdy proud může překročit dovolenou hranici zatížení vedení, všechno to záleží na přenášeném výkonu na vedení a pokud by se přenášený výkon na vedení zvýšil vlivem většího odběru u zákazníka, zvětší se i procházející proud na vedení a situace se může opakovat jako v případě letního období.

Simulace vypnutého vedení na hladině napětí 400 kV v rakouském profilu pro jednotlivé období ukázala, že plánovaná výstavba nového vedení V438 z České republiky do Rakouska

má své opodstatnění. Ze zpracovaných dat je zřejmé, že pro letní období, by vedení V438 neuneslo proudové zatížení i od vedení V437, v dalších obdobích tomu tak nebylo, ale není řečeno, že se to nemůže stát i pro ostatní období a vedení by bylo přetěžováno. Proto se přešlo k variantě zdvojit vedení V437 ze Slavětic do Dürnrohu, které bylo stávající a tak se mohou přenášet větší výkony, ale pokud by nastala situace výpadku buď V437, nebo V438, tak provoz vedení by byl stejný jako v minulých letech, než došlo k výstavbě nového vedení.

6.1.2 Vedení V445, V446 z České republiky do Německa

Při simulaci možných hraničních vedení z České republiky do Německa bylo vybráno vedení V445 a V446 z Hradce – východu do Röhrsdorfu (Německo), protože tyto vedení splňují požadavky, aby zde se mohla provést simulace vypnutí vedení, toto vedení vedou ze stejné rozvodny v České republice do stejné rozvodny v Německu a přenášený výkon se přelije na paralelní vedení, které je v provozu a nepodléhá poruše, nebo vypnutí.

Tab. 6.3 – Parametry vedení V445 a V446 z Hradce - východu do Röhrsdorfu [9]

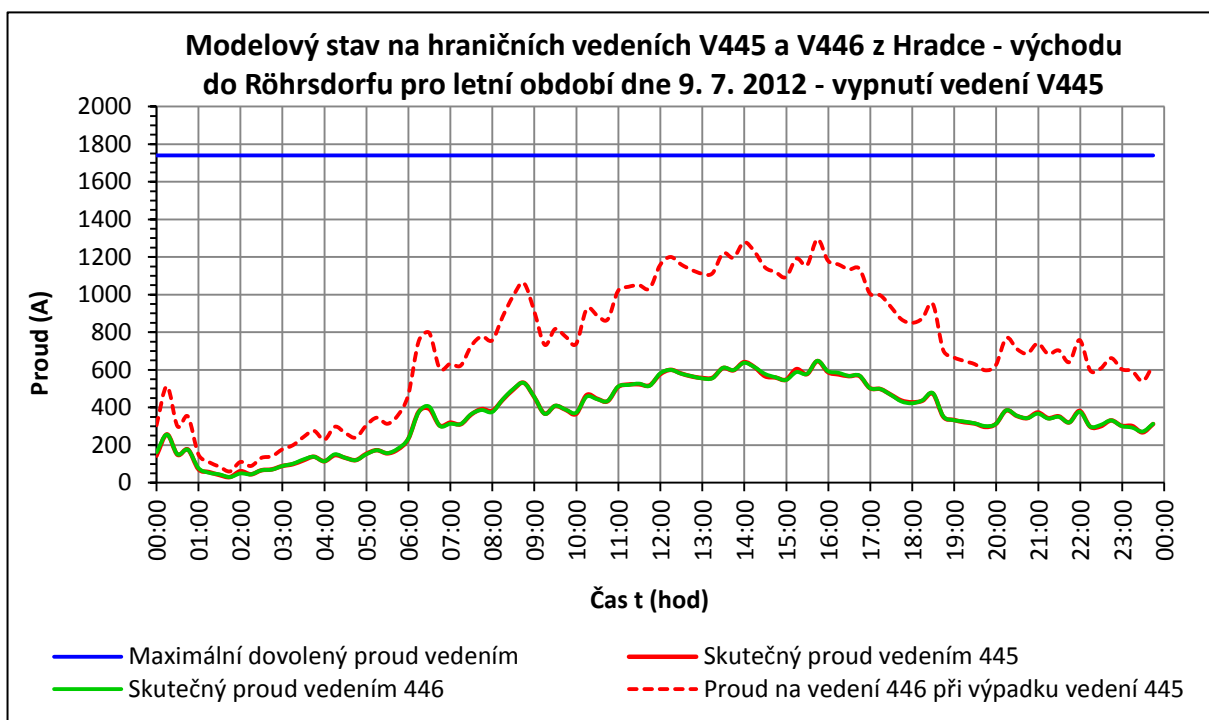
Hraniční vedení z České republiky do Německa					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Německo	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V445	Hradec - východ	HRD4	Röhrsdorf	DROH4	81,54
V446	Hradec - východ	HRD4	Röhrsdorf	DROH4	81,54

Číslo vedení	Zatížitelnost	R	X	B	Z_v
	(A)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V445	1740	2,46	21,89	349	250
V446	1740	2,46	21,89	349	250

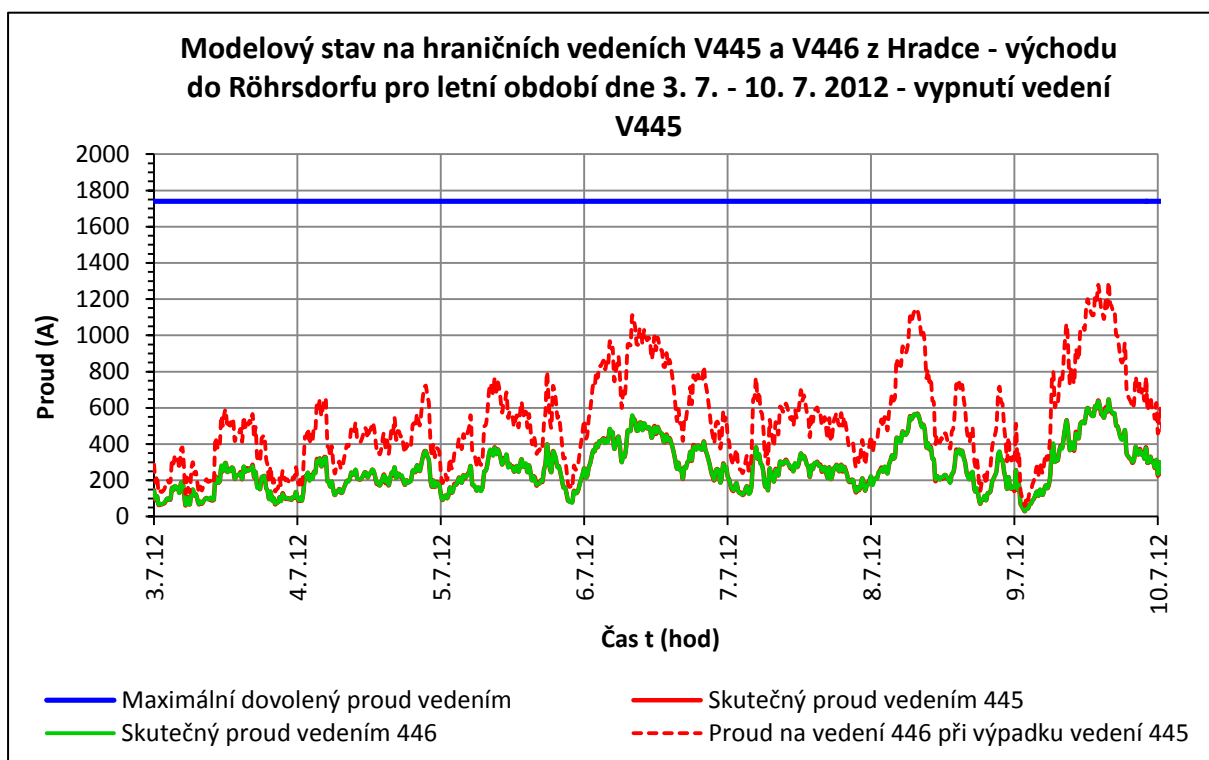
Letní období – denní a týdenní data

Tab. 6.4 – Ukázka dat z letního období na vedení 400 kV při dosažení maximální hodnoty v období na vedení V446 [9]

Datum a čas	Proud na vedení V445	Proud na vedení V446	Proud na vedení V446 při výpadku V445	Max. proudové zatížení vedení	Proud. zatížení na vedení V445	Proud. zatížení na vedení V446	Zatížení na vedení V446 při výpadku V445
(hod)	(A)	(A)	(A)	(A)	(%)	(%)	(%)
9.7.12 13:15	558,00	555,60	1113,60	1740	32,07	31,93	64,00
9.7.12 13:30	609,60	610,80	1220,40	1740	35,03	35,10	70,14
9.7.12 13:45	597,60	598,80	1196,40	1740	34,34	34,41	68,76
9.7.12 14:00	640,80	637,20	1278,00	1740	36,83	36,62	73,45
9.7.12 14:15	614,40	614,40	1228,80	1740	35,31	35,31	70,62
9.7.12 14:30	566,40	578,40	1144,80	1740	32,55	33,24	65,79
9.7.12 14:45	559,20	560,40	1119,60	1740	32,14	32,21	64,34
9.7.12 15:00	547,20	546,00	1093,20	1740	31,45	31,38	62,83
9.7.12 15:15	603,60	588,00	1191,60	1740	34,69	33,79	68,48
9.7.12 15:30	577,20	578,40	1155,60	1740	33,17	33,24	66,41
9.7.12 15:45	646,80	648,00	1294,80	1740	37,17	37,24	74,41
9.7.12 16:00	588,00	592,80	1180,80	1740	33,79	34,07	67,86
9.7.12 16:15	576,00	584,40	1160,40	1740	33,10	33,59	66,69



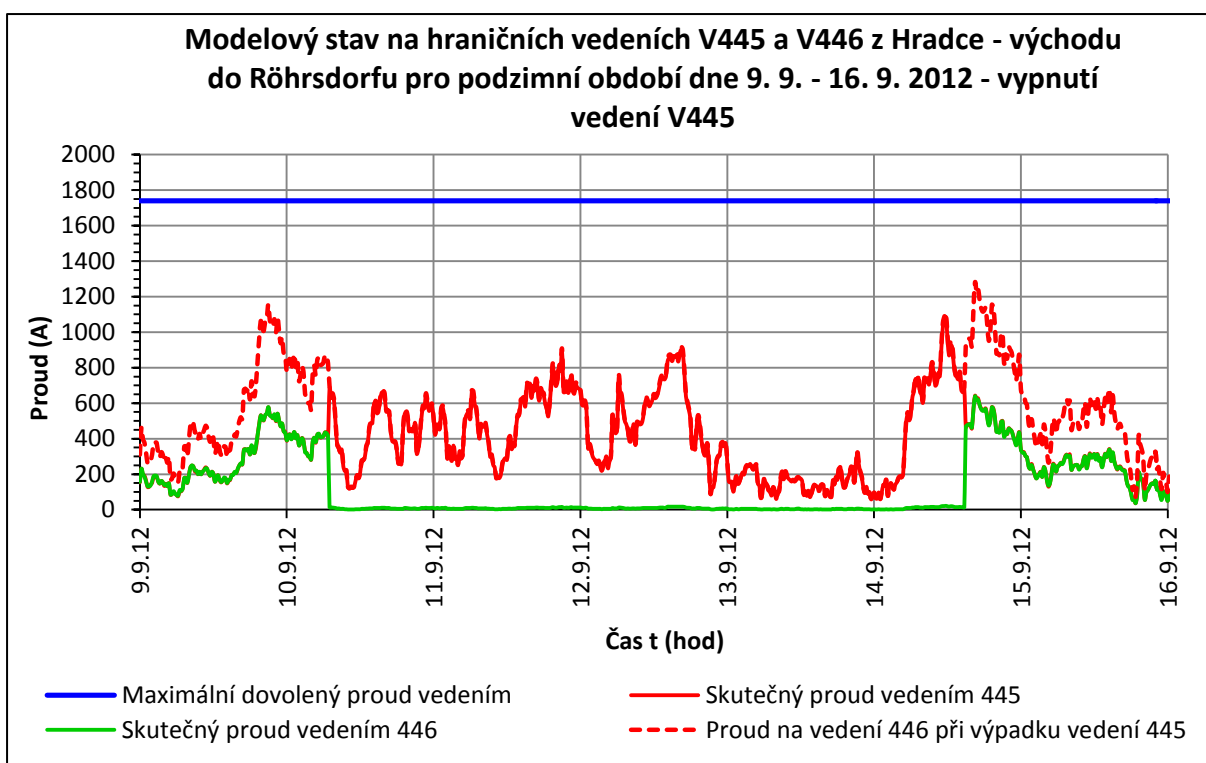
Graf 6.5 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro letní období 9. 7. 2012



Graf 6.6 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro letní období 3. 7. - 10. 7. 2012

Při této simulaci v letním období, kdy jsem uvažoval vypnuté vedení V445 z Hradce – východu do Röhrsdorfu, si lze povšimnout, že proud na vedení V446 špičkově narůstal a klesal v daném období, avšak nepřekročil dovolenou hranici maximálního zatížení na vedení, i když bylo uvažováno, že vedení V445 vypneme a přenášený výkon se bude přenášet vedením V446. Maximální hodnota zatížení vedení V446 dosáhla pouze 74,41 %, tudíž vedení má své proudové rezervy.

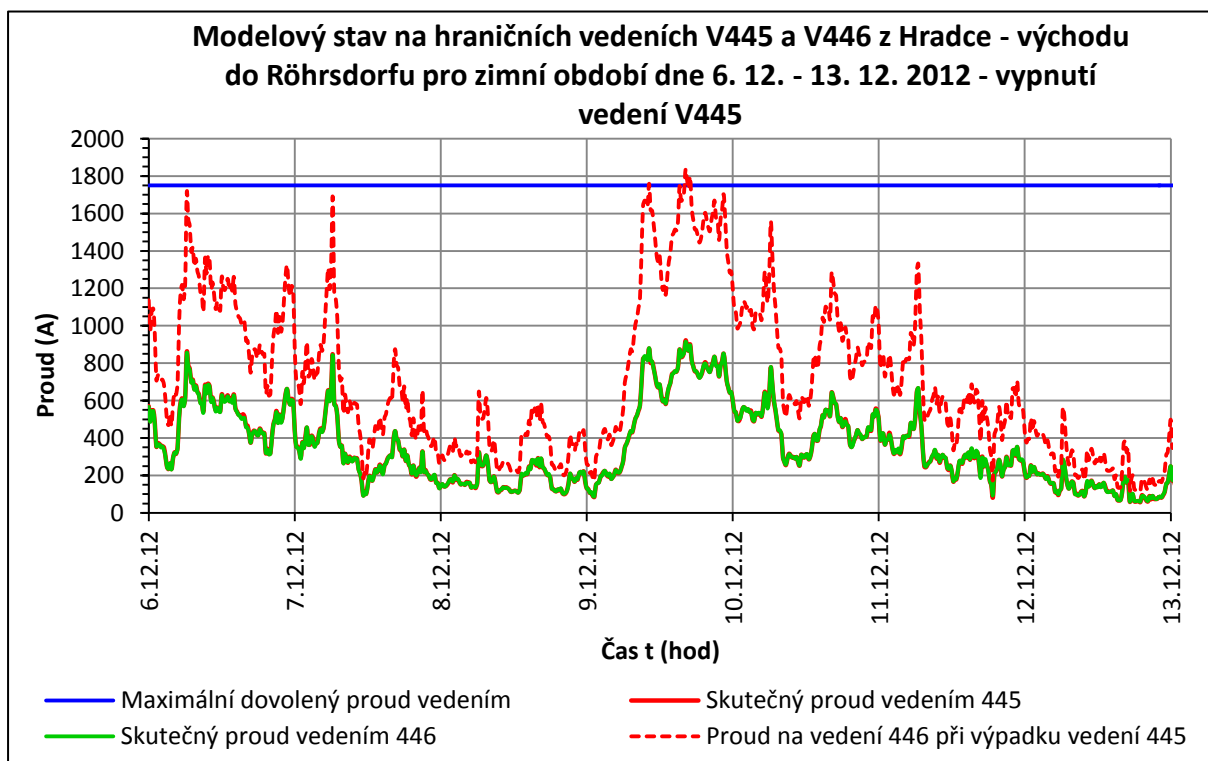
Podzimní období – týdenní data



Graf 6.7 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro podzimní období 9. 9. - 16. 9. 2012

Při simulaci vypnutého vedení v podzimním období a dle vypracovaných dat, můžeme říci, že proud na vedení V445 z Hradce – východu do Röhrsdorfu, vlivem vypnutého vedení, nezpůsobí na vedení V446 překročení maximální dovolené hodnoty zatížení. Z toho lze konstatovat, že vedení V446 by sneslo proud, který se přenáší na tomto vedení i proud z vedení V445. Maximální hodnota přenášeného proudu na vedení V446 i z vedení V445 byla 73,58 %. Ale můžeme si všimnout, že vedení V446 bylo v období od 10. 9. – 14. 9. 2012 skutečně vypnuto, a proud se přenášel na vedení V445.

Zimní období – týdenní data



Graf 6.8 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro zimní období 6. 12. – 12. 12. 2012

Při simulaci vypnutého vedení v zimním období a dle vypracovaných dat, nastává situace, že vedením V446 při vypnutém vedení V445 prochází proud, který má své špičkové hodnoty, které se přibližují k maximální dovolené hranici zatížení vedení. V jednom okamžiku se tento proud přehoupl přes tuto hranici dovoleného zatížení a způsobil tak 1,5 hodinové přetížení vedení o 83 A tedy 4,91 % nad maximální dovolenou hranici. Tento provoz vedení, i když je přetíženo na pár hodin se zásadně nedoporučuje, neboť se neví, co by se mohlo stát a jaké by to mohlo mít vedlejší následky.

Při simulaci vypnutého vedení na hladině napětí 400 kV pro německý profil v jednotlivých ročních obdobích ukázala, že průběh proudu na vedení V446 a V445 z České republiky do Německa se držel pod hodnotou dovoleného maximálního zatížení, i když bylo uvažováno vypnutí jednoho vedení. Situace překročení této hodnoty, nastala pouze v zimním období, na krátkou dobu. I když proud nepřekročil dovolenou hranici zatížení, může zde i nastat situace jako v rakouském profilu.

6.2 Modelový stav na hraničních vedeních na hladině napětí 220 kV

Pro tento případ simulace vypnutí vedení na hladině napětí 220 kV, bylo vybráno vedení V234 a V244 z České republiky do Rakouska, pouze toto vedení splňuje podmínku, kdy můžeme provést simulaci vypnutí jednoho vedení. Příklad simulace byl prováděn ve třech ročních obdobích: léto, podzim, zima s denními a týdenními vzorky. Pro tento typ paralelního vedení bude jedno z vedení vypnuto a přenášený výkon se bude snažit přenést vedení druhé, které bude v provozu. V tomto případě se můžeme přesvědčit, zda paralelní vedení, které bylo vystavěno, a propojuje stejné rozvodny, má svůj význam při výstavbě i při výpadku jednoho z nich. Výsledkem simulace, bude grafické znázornění procházejícího proudu na vedeních, neboť přenášený výkon je závislý na přenášeném proudu, které přenášejí proud na svém i poruchovém vedení.

6.2.1 Vedení V243, V244 z České republiky do Rakouska

Pro simulaci všech hraničních vedení 220 kV v České republice bylo vybráno vedení V243 a V244 ze Sokolnice do Bisambergu (Rakousko), protože toto vedení splňuje jako jediné své požadavky, aby zde mohla být provedena simulace vypnutí vedení, vedení vedou ze stejné rozvodny v České republice do stejné rozvodny v Rakousku, přenášený výkon se přenesse z jednoho vedení na druhé, protože jsou vedeny paralelně.

Tab. 6.5 – Parametry vedení V243 a V244 ze Sokolnice do Bisambergu [9]

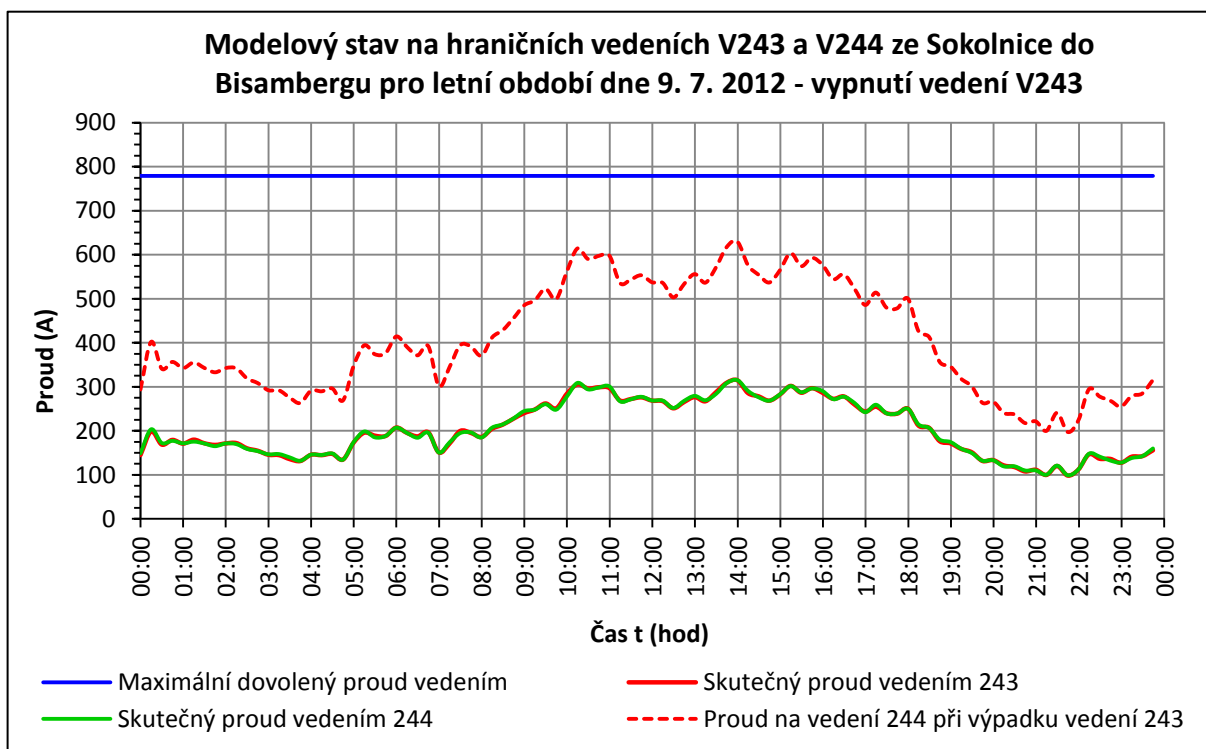
Hraniční vedení z České republiky do Rakouska					
Číslo vedení	Česká republika	Zkratka	Rakousko	Zkratka	Délka vedení
	(-)	(-)	(-)	(-)	(km)
V243	Sokolnice	SOK2	Bisamberg	BIS2	127,9
V244	Sokolnice	SOK2	Bisamberg	BIS2	127,9

Číslo vedení	Zatížitelnost	R	X	B	Z_v
	(A)	(Ω)	(Ω)	(μS)	(Ω)
V243	779	10,5	51,2	343	386
V244	779	10,5	51,2	343	386

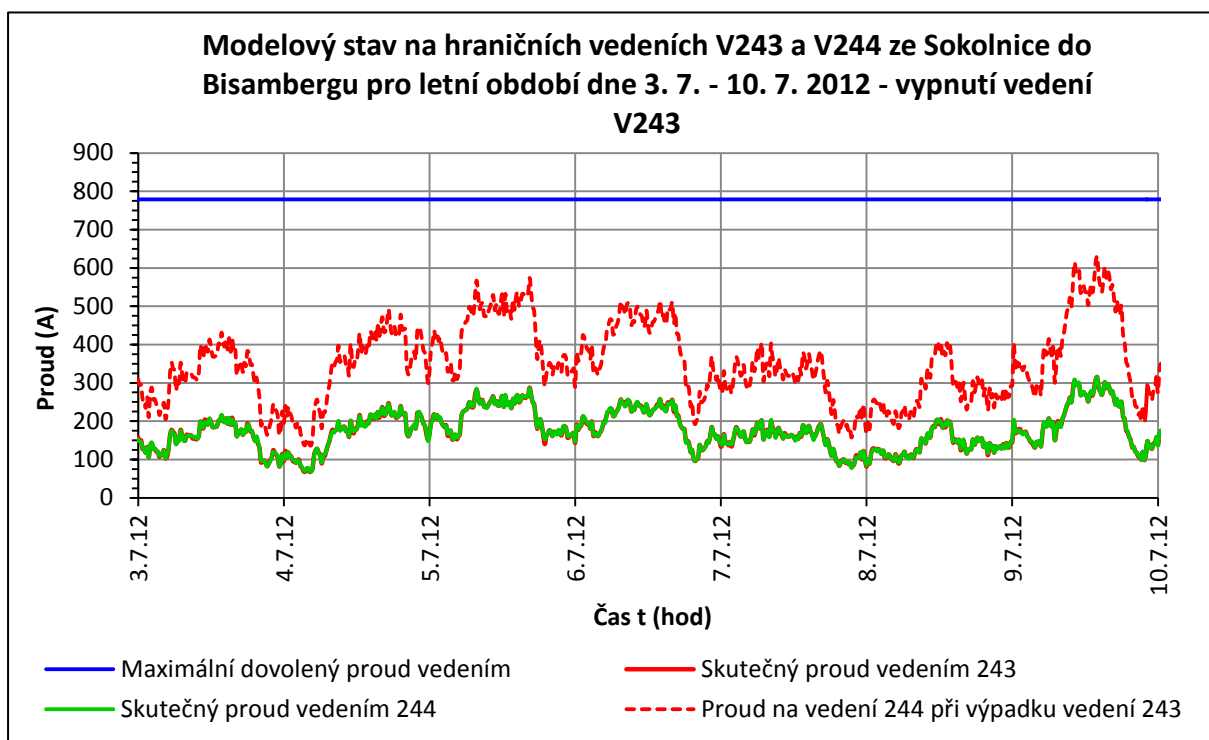
Letní období – denní a týdenní data

Tab. 6.6 – Ukázka dat z letního období na vedení 220 kV při dosažení maximální hodnoty v období na vedení V244 [9]

Datum a čas	Proud na vedení V243	Proud na vedení V244	Proud na vedení V244 při výpadku V243	Max. proudové zatížení vedení	Proud. zatížení na vedení V243	Proud. zatížení na vedení V244	Zatížení na vedení V244 při výpadku V243
(hod)	(A)	(A)	(A)	(A)	(%)	(%)	(%)
9.7.12 11:30	272,11	271,56	543,67	779	34,93	34,86	69,79
9.7.12 11:45	275,99	277,30	553,29	779	35,43	35,60	71,03
9.7.12 12:00	268,52	268,81	537,33	779	34,47	34,51	68,98
9.7.12 12:15	267,38	268,55	535,93	779	34,32	34,47	68,80
9.7.12 12:30	251,10	251,84	502,94	779	32,23	32,33	64,56
9.7.12 12:45	265,27	267,86	533,13	779	34,05	34,39	68,44
9.7.12 13:00	276,64	279,28	555,92	779	35,51	35,85	71,36
9.7.12 13:15	267,08	269,35	536,43	779	34,28	34,58	68,86
9.7.12 13:30	287,63	283,69	571,32	779	36,92	36,42	73,34
9.7.12 13:45	309,05	308,26	617,31	779	39,67	39,57	79,24
9.7.12 14:00	314,83	315,06	629,89	779	40,41	40,44	80,86
9.7.12 14:15	285,68	290,71	576,39	779	36,67	37,32	73,99
9.7.12 14:30	278,18	276,10	554,28	779	35,71	35,44	71,15



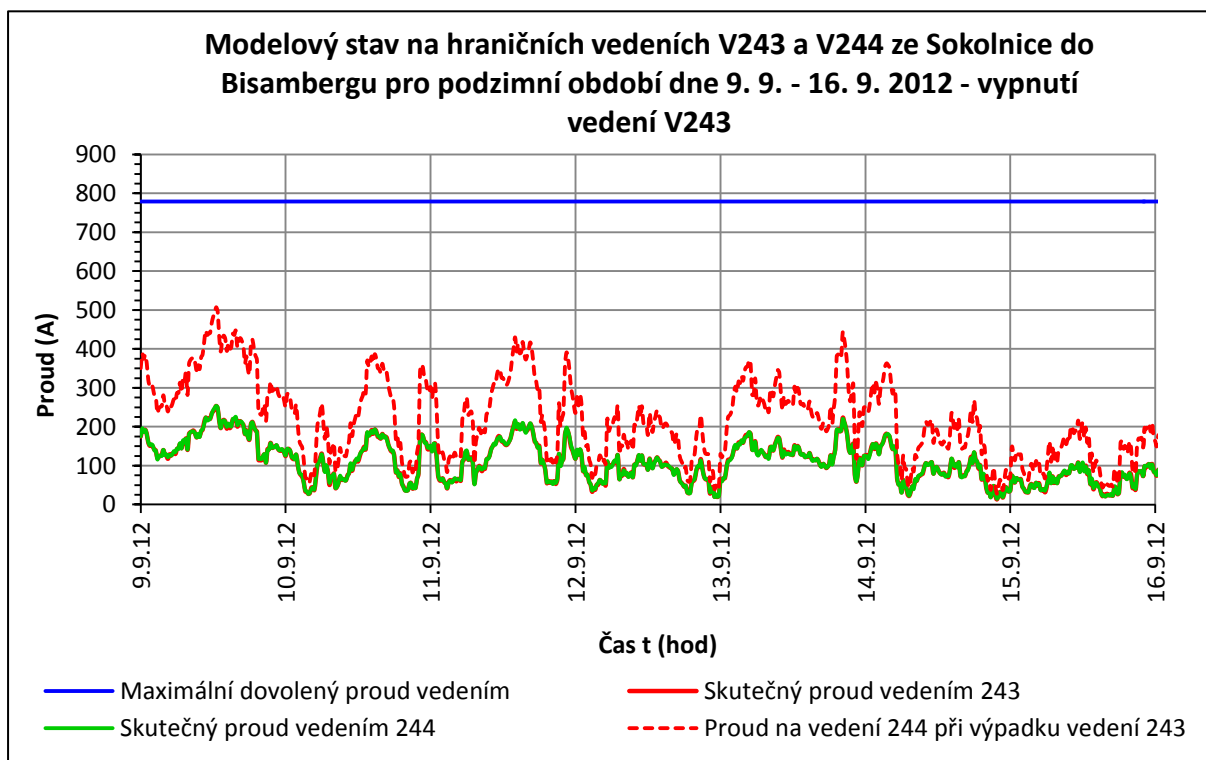
Graf 6.9 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro letní období 9. 7. 2012



Graf 6.10 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro letní období 3. 7. - 10. 7. 2012

Simulace v letním období při vypnutí vedení V243 ze Sokolnice do Bisambergu ukazuje, že proud na vedení V244 se pohyboval pod hodnotou maximálního zatížení a nepřekročil dovolenou hranici maximálního zatížení na vedení. Maximální hodnota zatížení na vedení V244 dosáhla pouze 80,86 %, tudíž vedení má své proudové rezervy a není přetěžováno, i když by bylo ve skutečnosti vedení V243 v tomto období vypnuto.

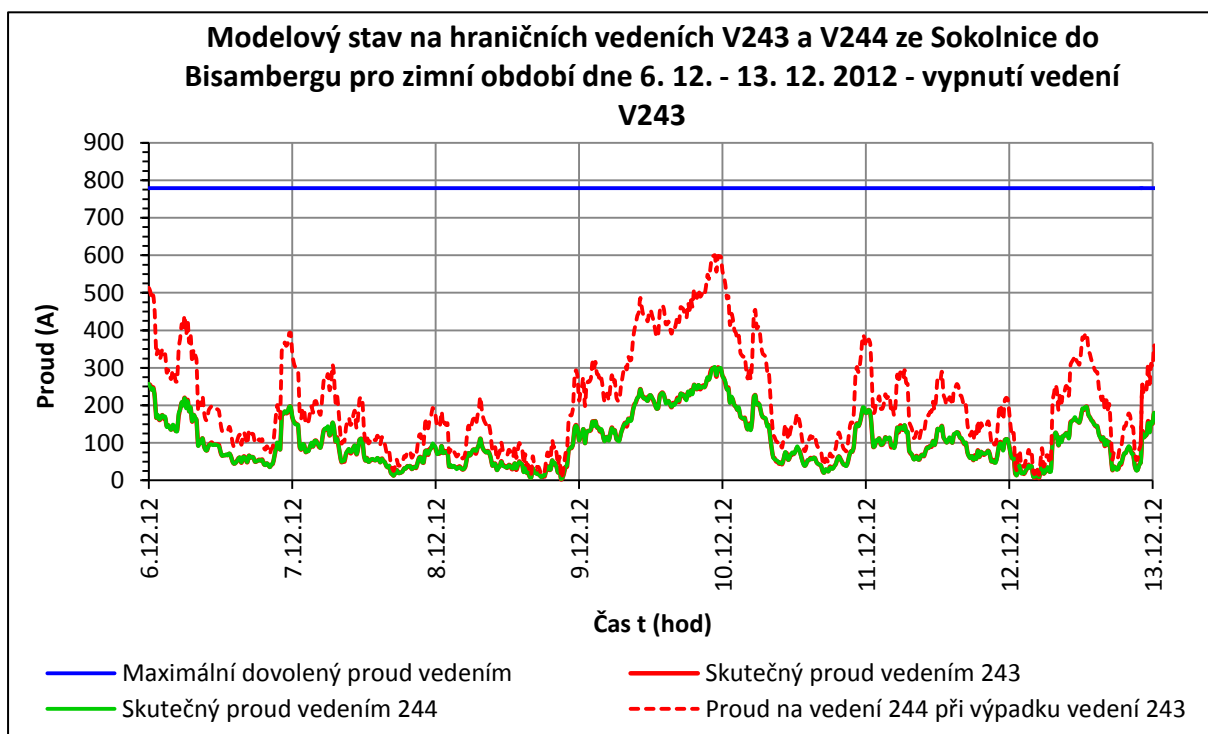
Podzimní období – týdenní data



Graf 6.11 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro podzimní období 9. 9. - 16. 9. 2012

Simulace v podzimním období při vypnutém vedení ze Sokolnice do Bisambergu ukazuje, že proud na vedení V243 nezpůsobí na vedení V244 překročení proudu nad maximální hodnotu zatížení. Průběh proudu při vypnutém V243 pohybuje jen špičkově do 50 % maximálního zatížení na tomto vedení. Toto vedení při normálním provozním stavu, bylo podle průběhu proudu poddimenzováno a nebylo ani ze 40 % proudově využito, tudíž nastala zde taková situace, že i při vypnutí jednoho z vedení, se proud nedostane nad maximální hodnotu zatížení.

Zimní období – týdenní data



Graf 6.12 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro zimní období 6. 12. – 12. 12. 2012

Při simulaci vypnutého vedení v zimním období a podle dat, nastává situace, jako při vypnutí vedení V243 v podzimním období. Proud dosahuje špičkových hodnot pod hranicí dovoleného maximálního zatížení. V jednom okamžiku proud dosáhl své špičkové maximální hodnoty 594,71 A z maximální hodnoty dovoleného zatížení 779 A tj. 76,34 %.

Při simulaci vypnutého vedení na hladině napětí 220 kV pro rakouský profil v jednotlivých ročních obdobích se ukázalo, že průběh proudu na vedení V243 a V244 z České republiky do Rakouska tj. ze Slavětic do Bisambergu se držel stále pod hodnotou dovoleného maximálního zatížení. Tento procházející proud i při vypnutí jednoho z vedení, by nezpůsobil problémy na vedení. V případě překročení dovolené hranice proudového zatížení je nutno situaci ihned řešit, třeba vypnutím bloku elektrárny.

7 Zhodnocení dosažených výsledků a stanovení závěrů

Při zhodnocení dosažených výsledků pro první kapitolu byla analýza průběhu naměřených venkovních teplot ve třech vybraných českých rozvodnách. Jak průběhy ukázaly, tak venkovní teploty na území České republiky se mění s polohou. Největší výkyvy teplot byly naměřeny ve třech vybraných ročních obdobích na rozvodně Hradec – západ, kde při západu slunce se teplota pohybovala o 20°C více než v jiných měřených místech. Z vyhodnocených grafů, lze taky usoudit, že průběhy teplot se výrazně nemění s polohou.

V druhém bodě analýzy Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničních vedeních ZVN a VVN přenosové soustavy jsou Jouleovy ztráty na hraničních vedeních značné a závisí hlavně na parametrech vedení, které se neustále mění s časem, těmito parametry jsou napětí U , činný výkon P a jalový výkon Q . Parametry jako je činný odpor R a susceptance B se nemění v čase, jsou dány uspořádáním a vlastnostmi vedení, ale musí se do Jouleových ztrát zahrnout. Při vyhodnocení průběhů z užšího výběru osmi hraničních vedení, pro každý stát dvě hraniční vedení, jsem zjistil, že největší Jouleovy ztráty byly v německém profilu na lince napěťové hladiny 400 kV a vedení V442 z Přestic do Etzenrichtu. Zde ztráty dosáhly v zimním období nejvyšších hodnot až do 12,19 MW při přenášeném výkonu na vedení 921 MW. U ostatních sousedních zemí na hraničních vedení 400 kV, tak značných hodnot nedosahovaly, jen v rakouském profilu byly ztráty mírně srovnatelné se ztráty na vedeních pro německý profil. U napěťové hladiny 220 kV se největší ztráty pohybovaly na vedení V246 z Lískovce do Kopaniny, kde v zimním období dosáhly hodnot až 9 MW při přenášeném výkonu 281 MW. Na ostatních vedeních této napěťové hladiny se ztráty pohybovaly do hodnot 4 MW

Dále jsem analyzoval hodnoty procházejícího proudu na vybraných hraničních vedeních z důvodu, zda tento proud nepřekročil dovolenou hranici proudového zatížení na vedení. Jak výsledky průběhů ukázaly, většina hraničních vedení se provozuje se značnou proudovou rezervou, což se může jevit jako nepříliš ekonomický provoz těchto vedení, ale zase na druhou stranu se nemůže dané vedení plně zatížit procházejícím proudem z důvodu, že při výpadku různého vedení musí dané vedení přenést proud na vedení, které podléhá poruše. Proudové rezervy jsou na hraničních vedeních také z důvodu určování volných kapacit v rámci vnitrodenního obchodování, tedy exportu a importu přenášeného výkonu mezi jednotlivými přenosovými zahraničními společnostmi.

Posledním bodem analýzy bylo vyhodnocení skutečného přenášeného výkonu na hraničních vedeních z hlediska hodnoty přirozeného výkonu na vedení. Při vyhodnocení z užšího výběru lze vidět, že překročení přenášeného výkonu nad hodnotu přirozeného výkonu bylo převážně na linkách 400 kV. Ideální provoz byl v zimním období na vedení V442 z Přestic do Etzenrichtu, zde přenášený výkon osciloval kolem hodnoty přirozeného výkonu. U ostatních hraničních vedení jednotlivých států se přenášený výkon pohyboval většinou pod hodnotou přirozeného výkonu, jen v polském profilu se přenášený výkon pohyboval nad hodnotou přirozeného výkonu, jak pro hladinu napětí 400 kV, tak i pro hladinu 220 kV. Přenosem přenášeného výkonu na hodnotě přirozeného výkonu je stav vedení ideální to je dáno, tím že napětí na konci a začátku hraničního vedení je stejné a tím se přenáší hraničním vedením pouze činný výkon a zamezí se tím toku jalového výkonu na vedení.

Při zhodnocení dosažených výsledků pro druhou kapitolu s velikostí Jouleových ztrát a přenášeného výkonu vztažené k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. lze říci, že velikost Jouleových ztrát na hraničních vedeních přenosové soustavy je dána velikostí přenášeného výkonu, čím větší přenášený výkon, tím budou Jouleovy ztráty větší. Ale při zhodnocení velikosti Jouleových ztrát k technickým ztrátám ČEPS, a.s. lze stanovit, že samotné ztráty na hraničních vedeních pro jednotlivé zahraniční profily jsou v porovnání s celkovými naměřenými technickými ztráty na vedeních celé přenosové soustavy ČEPS, a. s. minimální. Největší část Jouleových ztrát zaujímají hraniční vedení do Německa a Rakouska, kde se tyto ztráty pohybuje až v desítkách MW, což představují desítky procent z technických ztrát na vedeních ČEPS, a.s. Pro vedení do Polska jsou nejmenší jen v jednotkách MW, a představují jen jednotky procent z technických ztrát na vedeních ČEPS, a.s.

Pro zhodnocení dosažených výsledků pro poslední kapitolu s ohledem na modelové stavy na paralelních hraničních vedeních, lze stanovit, že provoz paralelních hraničních vedení pro státy do Německa a Rakouska má své opodstatnění, protože přenášený výkon se přenáší bez potíží, ale pokud by nastala situace, že bude jedno z paralelních vedení v poruše, nebo vypnuté a přenášený výkon se má v daný okamžik přelít na druhé paralelní vedení, pak by nastal problém s překročením dovoleného proudového zatížení a vedení se může nenávratně poškodit. Při simulaci vypnutého vedení nastala tato situace u hraničních vedení V437 a V438 ze Slavětic do Dürnhrohu, kde při vypnutí vedení V437 se proud na vedení dostal nad hodnotu dovoleného maximálního proudového zatížení v období největší špičky a to až o hodnotu 337,8 A. Proto výstavba nového vedení do Rakouska měla své opodstatnění a je skutečně

užitečná. V dalších případech se tek závažná situace neobjevila, ale při vypnutí vedení se proud značně přiblížil k hranici dovoleného proudového zatížení.

Na závěr chci zdůraznit, že problematika Jouleových ztrát na vedeních VVN a ZVN přenosové soustavy, jak se podílí na velikosti přenášeného výkonu má své opodstatnění. Dosažené výsledky, postup výpočtu a vyhodnocení Jouleových ztrát a dalších parametrů v této práci byly řešeny v reálném čase s vazbou na venkovní teplotu okolí s pomocí energetického dispečinku ČEPS, a.s. v Ostravě.

Seznam obrázků, grafů a tabulek

Obr. 1.1 – Schéma přenosové soustavy České republiky k 1. 1. 2013 [10]	3
Obr. 1.2 – Schéma rozvoje přenosové soustavy České republiky [11]	7
Obr. 2.1 – Propojení České republiky s okolními státy pomocí hraničních vedení ukázka z energetického dispečinku ČEPS, a.s. [9]	9
Obr. 3.1 – Podpěrné body VVN a ZVN	13
Obr. 3.2 – Rozložení odběru na vedení	18
Obr. 3.3 – Ukázka znečištění izolátoru a toku svodového proudu po povrchu izolátoru [6] ...	19
Obr. 4.1 – Přehled měřených teplot v objektech ČEPS, a.s. na dispečerském pracovišti ZDP Ostrava [9]	23
Obr. 4.2 – Ukázka rozložení parametrů pomocí náhradního článku „II“	26
Obr. 4.3 – Výpočet Jouleových ztrát na skutečném vedení V404 pomocí náhradního článku „II“	29
Obr. 4.4 – Ukázka měření ztrát přenosové soustavy na energetickém dispečinku ČEPS, a.s. [9]	32
Obr. 4.5 – Přenos přirozeného výkonu vedení [8]	65
Obr. 4.6 – Ukázka přenášeného výkonu v letním období 9. 7. 2012 v 11 hodin mezi státy ČR [9]	67
Obr. 6.1 – Přehled hraničních vedení z České republiky do sousedních zemí z řídicího dispečinku ČEPS v Ostravě, ukázka simulace pro vybrané vedení [9]	107
Graf 4.1 – Průběh venkovní teploty na územích ČR pro letní období vybraného týdne 3. 7. - 10. 7. 2012	23
Graf 4.2 – Průběh teploty na územích České republiky pro letní období dne 9. 9. - 16. 9. 2012	24
Graf 4.3 – Průběh teploty na územích České republiky pro zimní období dne 6. 12. - 13. 12. 2012	25
Graf 4.4 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V404 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	31
Graf 4.5 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V445 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	33
Graf 4.6 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V445 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	34
Graf 4.7 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V445 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	34

Graf 4.8 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	35
Graf 4.9 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	36
Graf 4.10 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	36
Graf 4.11 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V438 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	38
Graf 4.12 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V438 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	38
Graf 4.13 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V438 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	39
Graf 4.14 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V244 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	40
Graf 4.15 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V244 z ČR do Rakouska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	41
Graf 4.16 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V244 z ČR do Rakouska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	41
Graf 4.17 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V497 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	43
Graf 4.18 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V497 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	43
Graf 4.19 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V497 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	44
Graf 4.20 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V280 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	45
Graf 4.21 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V280 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	46
Graf 4.22 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V280 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	46
Graf 4.23 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V443 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	48
Graf 4.24 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V443 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	48
Graf 4.25 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V443 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	49
Graf 4.26 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	50

Graf 4.27 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	51
Graf 4.28 – Průběh Jouleových ztrát a přenášeného výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	51
Graf 4.29 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	55
Graf 4.30 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012.....	55
Graf 4.31 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012.....	56
Graf 4.32 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V243 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	57
Graf 4.33 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V243 z ČR do Rakouska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012.....	58
Graf 4.34 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V243 z ČR do Rakouska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012.....	58
Graf 4.35 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V424 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012.....	60
Graf 4.36 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V424 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	60
Graf 4.37 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V424 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	61
Graf 4.38 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	62
Graf 4.39 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	63
Graf 4.40 – Průběh přenášeného proudu k maximálnímu dovolenému zatížení na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	63
Graf 4.41 – Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012.....	69
Graf 4.42 – Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	69
Graf 4.43 – Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Německa pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	70
Graf 4.44 – Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Rakouska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012.....	71
Graf 4.45 – Průběh přenášeného výkonu vztážen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Rakouska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	72

Graf 4.46 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR do Rakouska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	72
Graf 4.47 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR na Slovensko pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	74
Graf 4.48 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR na Slovensko pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	74
Graf 4.49 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V442 z ČR na Slovensko pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	75
Graf 4.50 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012	76
Graf 4.51 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro podzimní období 9. 9. – 16. 9. 2012	77
Graf 4.52 – Průběh přenášeného výkonu vztažen k přirozenému výkonu na hraničním vedení V246 z ČR do Polska pro zimní období 6. 12. – 13. 12. 2012	77
Graf 5.1 – Průběh naměřených technických ztrát na dispečinku ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	81
Graf 5.2 – Průběh naměřených technických ztrát na dispečinku ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	81
Graf 5.3 – Průběh naměřených technických ztrát na dispečinku ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	82
Graf 5.4 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Německa k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	84
Graf 5.5 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Německa k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	84
Graf 5.6 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Německa k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	85
Graf 5.7 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	86
Graf 5.8 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	87
Graf 5.9 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	87
Graf 5.10 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	89
Graf 5.11 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	89
Graf 5.12 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	90

Graf 5.13 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	91
Graf 5.14 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	92
Graf 5.15 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	92
Graf 5.16 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	95
Graf 5.17 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	95
Graf 5.18 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Rakouska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	96
Graf 5.19 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	98
Graf 5.20 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	98
Graf 5.21 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV na Slovensko k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	99
Graf 5.22 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	100
Graf 5.23 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	101
Graf 5.24 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 220 kV do Polska k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	101
Graf 5.25 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV a 220 kV jednotlivých států k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro letní období v týdnu 3. 7. – 10. 7. 2012	103
Graf 5.26 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV a 220 kV jednotlivých států k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro podzimní období v týdnu 9. 9. – 16. 9. 2012	104
Graf 5.27 – Podíl Jouleových ztrát na vedeních 400 kV a 220 kV jednotlivých států k technickým ztrátám na vedeních ČEPS, a.s. pro zimní období v týdnu 6. 12. – 13. 12. 2012	104
Graf 6.1 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro letní období 9. 7. 2012	109
Graf 6.2 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro letní období 3. 7. - 10. 7. 2012	109
Graf 6.3 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro podzimní období 9. 9. - 16. 9. 2012.....	110

Graf 6.4 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V438 při vypnutém vedení V437 pro zimní období 6. 12. – 12. 12. 2012	111
Graf 6.5 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro letní období 9. 7. 2012	114
Graf 6.6 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro letní období 3. 7. - 10. 7. 2012	114
Graf 6.7 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro podzimní období 9. 9. - 16. 9. 2012.....	115
Graf 6.8 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V446 při vypnutém vedení V445 pro zimní období 6. 12. – 12. 12. 2012	116
Graf 6.9 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro letní období 9. 7. 2012	118
Graf 6.10 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro letní období 3. 7. - 10. 7. 2012	119
Graf 6.11 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro podzimní období 9. 9. - 16. 9. 2012.....	120
Graf 6.12 – Průběh simulace přenášeného proudu na vedení V244 při vypnutém vedení V243 pro zimní období 6. 12. – 12. 12. 2012	121

Tab. 1.1 – Popis všech zařízení přenosové soustavy České republiky [10]	4
Tab. 1.2 – Popis vedení přenosové soustavy České republiky [10]	4
Tab. 1.3 – Rozvoj přenosové soustavy České republiky [11]	6
Tab. 2.1 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí do Německa přenosové soustavy 50 Hertz Transmission [9]	10
Tab. 2.2 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí do Německa přenosové soustavy TenneT TSO [9]	10
Tab. 2.3 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí Rakouska přenosové soustavy Austrian Power Grid [9]	10
Tab. 2.4 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí na Slovensko přenosové soustavy SEPS [9]	11
Tab. 2.5 – Hraniční vedení 400 kV vedoucí do Polska přenosové soustavy PSE Operator [9]	11
Tab. 2.6 – Hraniční vedení 220 kV vedoucí Rakouska přenosové soustavy Austrian Power Grid [9]	11
Tab. 2.7 – Hraniční vedení 220 kV vedoucí na Slovensko přenosové soustavy SEPS [9]	11
Tab. 2.8 – Hraniční vedení 220 kV vedoucí do Polska přenosové soustavy PSE Operator [9]	11
Tab. 2.9 – Parametry hraničních vedení 400 kV z ČR do zahraničí [9]	12

Tab. 2.10 – Parametry hraničních vedení 220 kV z ČR do zahraničí [9]	12
Tab. 3.1 – Svodové ztráty uvedené na kilometr délky pro danou hladinu napětí [5]	19
Tab. 4.1 – Parametry hraničního vedení V404 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	29
Tab. 4.2 - Ukázka naměřených dat z energetického dispečinku ČEPS, a.s.[9]	30
Tab. 4.3 – Parametry hraničního vedení V445 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	33
Tab. 4.4 – Parametry hraničního vedení V442 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	35
Tab. 4.5 – Parametry hraničního vedení V438 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	37
Tab. 4.6 – Parametry hraničního vedení V244 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	40
Tab. 4.7 – Parametry hraničního vedení V497 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	42
Tab. 4.8 – Parametry hraničního vedení V280 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	45
Tab. 4.9 – Parametry hraničního vedení V443 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	47
Tab. 4.10 – Parametry hraničního vedení V246 pro výpočet Jouleových ztrát [9]	50
Tab. 4.11 – Průběh skutečného přenášeného výkonu na hraničních vedeních ČR.....	52
Tab. 4.12 – Ukázka naměřených dat skutečného přenášeného proudu a maximálního proudového zatížení z dispečinku ČEPS, a.s. na hraničním vedení V441 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012 [9]	54
Tab. 4.13 – Ukázka naměřených dat skutečného přenášeného proudu a přirozeného výkonu z dispečinku ČEPS, a.s. na hraničním vedení V441 z ČR do Německa pro letní období 3. 7. – 10. 7. 2012 [9]	68
Tab. 5.1 – Ukázka naměřených technických ztrát v přenosové soustavě společností ČEPS, a.s. [9]	80
Tab. 6.1 – Parametry vedení V437 a V438 ze Slavětic do Dürnrohu [9]	108
Tab. 6.2 – Ukázka dat z letního období při překročení dovoleného zatížení na vedení V438 [9]	108
Tab. 6.3 – Parametry vedení V445 a V446 z Hradce - východu do Röhrsdorfu [9]	113
Tab. 6.4 – Ukázka dat z letního období na vedení 400 kV při dosažení maximální hodnoty v období na vedení V446 [9]	113
Tab. 6.5 – Parametry vedení V243 a V244 ze Sokolnice do Bisambergu [9]	117
Tab. 6.6 – Ukázka dat z letního období na vedení 220 kV při dosažení maximální hodnoty v období na vedení V244 [9]	118

Seznam použité literatury

- [1] **Rusek, S.:** *Teoretická elektroenergetika*, skriptum VŠB – Technická univerzita Ostrava 1999
- [2] **Hradílek, Z.:** *Elektroenergetika*, skriptum VŠB – Technická univerzita Ostrava 1992
- [3] **Mach, V.:** *Technika vysokých napětí*, skriptum VŠB – Technická univerzita Ostrava 2006
- [4] **Hodinka, M.:** *Elektrické sítě I.*, skriptum VŠB – Technická univerzita Ostrava 1973
- [5] **Kučera, D.:** *Přenos a rozvod elektrické energie*, SNTL, Praha 1982
- [6] **Rudolf, L.:** *Komplexní rozbor elektrických ztrát vedení přenosové soustavy*, habilitační práce VŠB – Technická univerzita FEI Ostrava 2009
- [7] **Vaculík, P.:** *Predikce technických ztrát s ohledem na změny venkovní teploty u vedení přenosové soustavy*, diplomová práce VŠB – Technická univerzita Ostrava 2011
- [8] **Kostka, T.:** *Elektrotechnika I*, skriptum, Havířov 2009
- [9] ČEPS, a.s.: *Podklady a technická dokumentace*
- [10] ČEPS, a.s.: *Technická infrastruktura ČEPS, a.s. Údaje o přenosové soustavě* [online] 2013, [cit. 2013-13-3]. Dostupný z WWW:
<<http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Udaje-o-PS.aspx>>
- [11] ČEPS, a.s.: *Technická infrastruktura ČEPS, a.s. Rozvoj přenosové soustavy* [online] 2013, [cit. 2013-15-3]. Dostupný z WWW:
<<http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Rozvoj-PS.aspx>>
- [12] ČEPS, a.s.: *Zahraniční spolupráce ČEPS, a.s. CEE TSO* [online] 2013, [cit. 2013-15-3]. Dostupný z WWW:
<http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Zahranicni-spoluprace/Stranky/CEE_TSO.aspx>

Seznam příloh

Příloha I – Průběh Joulových ztrát na hraničních vedeních (CD příloha)

- a) Letní období
- b) Podzimní období
- c) Zimní období

Příloha II – Průběh přenášeného proudu na hraničních vedeních (CD příloha)

- a) Letní období
- b) Podzimní období
- c) Zimní období

Příloha III – Průběh přenášeného výkonu vůči přirozenému výkonu na hraničních vedeních (CD příloha)

- a) Letní období
- b) Podzimní období
- c) Zimní období